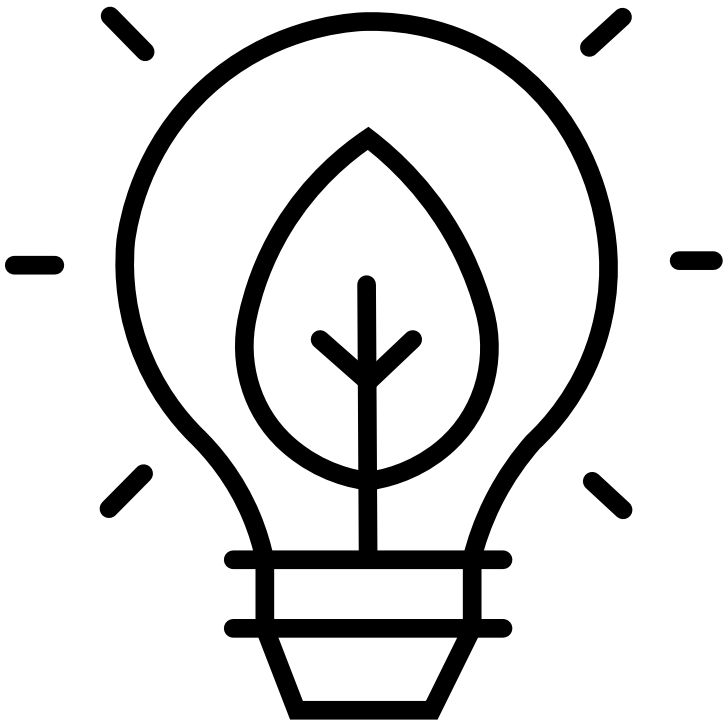
8º Congresso Internacional de *Tecnologia para o Meio Ambiente*



EDUCS PESQUISA

8º Congresso Internacional de
Tecnologia para o Meio Ambiente



Fundação Universidade de Caxias do Sul

Presidente:
Dom José Gislon

Universidade de Caxias do Sul

Reitor:
Gelson Leonardo Rech

Vice-Reitor:
Asdrubal Falavigna

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação:
Everaldo Cescon

Pró-Reitora de Graduação:
Terciane Ângela Luchese

Pró-Reitora de Inovação e Desenvolvimento Tecnológico:
Neide Pessin

Chefe de Gabinete:
Givanildo Garlet

Coordenadora da EDUCS:
Simone Côrte Real Barbieri

Conselho Editorial da EDUCS

André Felipe Streck
Alexandre Cortez Fernandes
Cleide Calgaro – Presidente do Conselho
Everaldo Cescon
Flávia Brocchetto Ramos
Francisco Catelli
Gelson Leonardo Rech
Guilherme Brambatti Guzzo
Karen Mello de Mattos Margutti
Márcio Miranda Alves
Simone Côrte Real Barbieri – Secretária
Suzana Maria de Conto
Terciane Ângela Luchese

Comitê Editorial

Alberto Barausse
Universitá degli Studi del Molise/Itália

Alejandro González-Varas Ibáñez
Universidad de Zaragoza/Espanha

Alexandra Aragão
Universidade de Coimbra/Portugal

Joaquim Pintassilgo
Universidade de Lisboa/Portugal

Jorge Isaac Torres Manrique
Escuela Interdisciplinar de Derechos Fundamentales Praeeminentia Iustitia/Peru

Juan Emmerich
Universidad Nacional de La Plata/Argentina

Ludmilson Abritta Mendes
Universidade Federal de Sergipe/Brasil

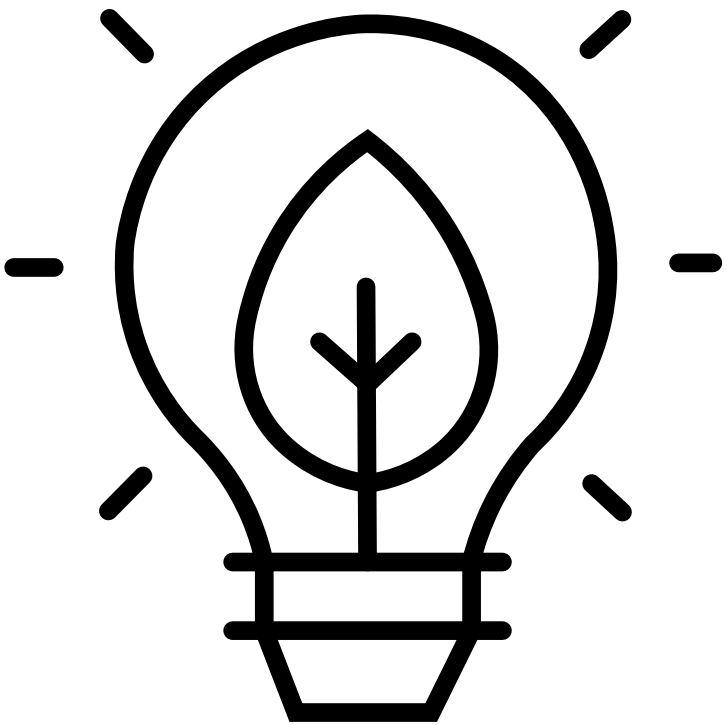
Margarita Sgró
Universidad Nacional del Centro/Argentina

Nathália Cristine Vieceli
Chalmers University of Technology/Suécia

Tristan McCowan
University of London/Inglaterra



8º Congresso Internacional de
Tecnologia para o Meio Ambiente



EDUCS
PESQUISA

© dos organizadores
1ª edição: 2025
Preparação de texto: Sob responsabilidade dos autores
Revisão: Helena Vitória Klein
Editoração e Capa: Igor Rodrigues de Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS – BICE – Processamento Técnico

C749a Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente (8. : 2025 maio 20-22 : Bento Gonçalves, RS)
[Anais do] 8º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente [recurso eletrônico] / [organização] Bianca Breda, Juliano Gimenez, Patricia Braz Martins. – Caxias do Sul, RS : EDUCS, 2025.
Dados eletrônicos (1 arquivo).

Apresenta bibliografia.
Vários autores.
Modo de acesso: World Wide Web.
Esta publicação reúne os artigos apresentados no congresso.
Tema: "Inovação e sustentabilidade : desafios para um futuro melhor".
ISBN 978-65-5807-502-8
DOI: 10.18226/9786558075028

1. Meio ambiente - Inovações tecnológicas - Congressos e convenções. I. Breda, Bianca. II. Gimenez, Juliano. III. Martins, Patricia Braz. III. Título.

CDU 2. ed.: 502:001.895(062.552)

Índice para o catálogo sistemático:

1. Meio ambiente - Inovações tecnológicas - Congressos e convenções
502:001.895(062.552)

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

Direitos reservados a:

EDITORA AFILIADA

EDUCS – Editora da Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 – Bairro Petrópolis – CEP 95070-560 – Caxias do Sul – RS – Brasil
Ou: Caixa Postal 1352 – CEP 95020-972 – Caxias do Sul – RS – Brasil
Telefone/Telefax: (54) 3218 2100 – Ramais: 2197 e 2281 – DDR (54) 3218 2197
Home Page: www.ucs.br – E-mail: educs@ucs.br

Sumário

Apresentação | 18

O EVENTO | 19

Sustentabilidade no olhar interno: A percepção dos colaboradores sobre práticas de educação ambiental nas empresas e indústrias | 20
Joquebede Baia Belo; Ruan Victor Dias Pimentel

Práticas ESG e sua contribuição para a reputação empresarial: Estudo de caso na empresa Bracol | 30
Joquebede Baia Belo

Vulnerabilidade ambiental das unidades territoriais das paisagens do Sudoeste do Paraná | 41
Julio Caetano Tomazoni; Elisete Guimarães;Eduardo Caetano Tomazoni

Suscetibilidade erosiva da bacia do rio São José no município de Francisco Beltrão – PR | 51
Elisete Guimarães; Julio Caetano Tomazoni; Eduardo Caetano Tomazoni

Utilização de índice de vegetação para avaliação de impacto de estiagem sobre as diferentes formas de uso do solo no município de Francisco Beltrão | 63
Julio Caetano Tomazoni; Elisete Guimarães; Eduardo Caetano Tomazoni

Efeito da adição de retardantes de chama não halogenados na flamabilidade e nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas de resíduos de polietileno | 75
Denise Passaia; Matheus Poletto

Avaliação das propriedades morfológicas, químicas e térmicas de lignosulfonato modificado com fósforo para uso como aditivo retardante de chama de fonte renovável | 86
Fernanda Caroline Cagol; Matheus Poletto

Influência dos parâmetros físicos e químicos sobre as águas naturais do Rio da Várzea – RS | 97
Paulo Roberto Bairros da Silva; Maxwel Timm Portella; Frederico Fabio Mauad

Análise do desempenho da adição de resíduos de usinagem nas propriedades mecânicas do concreto | 106
Renata Gomes Mardero; Vinício Cecconello

Remoção do corante alimentício ponceau 4R por eletrocoagulação | 120
Cristina Benincá; Dyerônimo da Silva Santos; Joselaine dos Santos Dias; Márcia Victória Silveira

Implantação do BIM em concessionária de saneamento: Um estudo de caso na região da fronteira do RS | 128
Camila Escaramusa Vaz; Dr.ª Alcione Aparecida Almeida Alves; Dr.ª Aline Raquel Müller Tones

Biorremediação de Atrazina por *Saccharomyces cerevisiae* Aplicando o Bioestímulo | 140
Elisete Guimarães; Nathalia M. Toller; Julio Caetano Tomazoni; Elizabeth Martinez Huergo; Claudia Dalla Pria Becker

Ozonização integrada como estratégia de tratamento de águas contaminadas em situações de enchentes no Brasil | 151
Letícia Reggiane de Carvalho Costa; Cassandra Bonfante de Carvalho; Caroline Borges Agustini; Liliana Amaral Féris

Sinergia entre diferentes agentes em processos oxidativos avançados para a degradação de cafeína 162
Cassandra Bonfante de Carvalho; Katianna Hugue; Letícia Reggiane de Carvalho Costa; Keila Guerra Pacheco Nunes; Liliana Amaral Féris

Análise do Desempenho e Emissões de um motor Diesel Operando em Modo Bicombustível Através da Injeção Indireta de Etanol | 173
Josimar Souza Rosa; Túlio Augusto Zucarelli de Souza; Thomas Hammes; Giovani Dambros Telli

Investigação do comportamento da Eletrodiálise aplicada para a remoção de ferro e manganês de águas | 185
Nathália F. Livinalli; Wendel P. Silvestre; Jocelei Duarte; Camila Baldasso

Avaliação da corrente limite em função da concentração de níquel no processo de eletrodiálise | 198
Eduardo Antônio Zanella; Camila Baldasso

Avaliação dos parâmetros de operação durante processo de eletrodiálise para tratamento de uma solução sintética de níquel | 208
Eduardo Antônio Zanella; Camila Baldasso

Solução IOT para monitoramento de dióxido de carbono (CO_2): Integração *ThingSpeak* e *WhatsApp* | 218
Luize Baldoni de Oliveira; Fabiana Campos Pimentel; Miguel Brondani; Samantha Gomes Lorenzi; Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Otimização de parâmetros experimentais para síntese de membranas de poli(álcool vinílico) pelo método de inversão de fases | 229

Fernando Silva Dal Magro; Camila Baldasso; Wendel Paulo Silvestre

Decorrência das pontas de cigarros no desenvolvimento de plântulas de pepino 242

Juliana Roriz Aarestrup; Vinícius Aarestrup Azevedo

O conceito *digital twin* aplicado para prognóstico e mitigação dos efeitos da inundação nas cidades às margens da Lagoa dos Patos | 250

Elisa Helena Fernandes; Glauber Acunha Gonçalves

Aplicação do processo combinado Eletrocoagulação/Biocarvão na remoção de cor e efeitos de toxicidade aguda com bioindicador | 261

Luciano André Deitos Koslowski; Milena Cristofolini; Camila Schwarz Pauli; Alexandre Tadeu Paulino

Índice de sombreamento da Wisteria Floribunda usada em um sistema de fachada verde | 272

Valéria Dias Osorio; Emily Samanta Bublitz; Anelise Jung Reis; Vitória Tesser Martin; Rutineia Tassi; Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Redução do grau de inchamento de um filme biopolimérico à base de ágar a partir da adição de nanocelulose como reforço | 282

Júlia Daneluz; Wendel Paulo Silvestre; Camila Baldasso

Efeito da adição de nanocelulose na solubilidade em água de um biopolímero à base de ágar | 291

Júlia Daneluz; Wendel Paulo Silvestre; Camila Baldasso

Curricularização da Extensão Universitária: Impacto do Programa de Sustentabilidade da Itaipu Parquetec nos ODS no Paraná e Sul do Mato Grosso do Sul | 298

Karina Zavilenski Custódio; Ana Paula Credendio; Ana Paula Trevisan; Alysson Guilherme de Lima Guimaraes; Adilson Francelino Alves

Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial: Itaipu e Itaipu Parquetec contribuindo para a Extensão Universitária regional | 310

Welinton Camargo Ferreira; Ana Paula Credendio; Karina ZavilenskiCustódio; Ana Paula Trevisan Lied; Alysson Guilherme de Lima Guimaraes

La influencia de la presión atmosférica y la temperatura sobre el nivel de la napa freática en el barranco aluvial San Ildefonso Trujillo, Perú | 321
Carlos Eduardo Quiroz Moreno; Vania Elisabete Schneider

Mudanças Climáticas capacitação técnica através de curso no EaD | 333
Flávia Renata Potrich Signor; Rodrigo Launikas Cupelli;Karina Zavilenski Custodio; Ana Paula Crendendio; Lhuan Junior Fereiro Pinto

Produtividade de Poços Tubulares Caracterizados por duas Entradas de Água, Localizados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) – RS 342
Aline Saupe Abreu; Pedro Antonio Roehe Reginato; Tiago de Vargas; Franciele Schwanck Carlos; Taison Anderson Bortolin

Análise comparativa da degradação de diferentes azocorantes empregando o processo de eletrocoagulação/biocarvão | 350
Luciano André Deitos Koslowski; Alexandre Tadeu Paulino

Análise da Qualidade da água do Ribeirão Taquaras, Alto Vale do Itajaí, Ibirama SC Brasil | 361
Luciano André Deitos Koslowski; Silvana Licodiedoff; Alexandre Tadeu Paulino

Cidades inteligentes e IA: o futuro da prevenção de desastres ambientais no Rio Grande do Sul | 372
Jaqueline Rodrigues de Oliveira; Alice Soares Meira

Acordo de Paris e NDCs: estudo da ambição climática e dos desafios da implementação 384
Jaqueline Rodrigues de Oliveira; Sandi Maís Schaedler; Talissa Truccolo Reato

Automatização do *download* de dados telemétricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico | 395
Miguel Brondani; Gustavo Schefelbanis Araujo; Luize Baldoni de Oliveira; Samantha Gomes Lorenzi; Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Avaliação da qualidade da água de uma represa de captação utilizando o Índice de Conformidade ao Enquadramento | 404
Patrícia Buffon; Marcia dos Santos Ramos Berreta; Janaina Ribeiro Velho

Gerenciamento de dados de qualidade da água bruta de represas através do uso do *Power BI* | 415
Patrícia Buffon; Marcia dos Santos Ramos Berreta; Janaina Ribeiro Velho

Avaliação da Ocorrência de Sódio e Cloreto nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Costeiro (SAC), no Estado do Rio Grande do Sul (RS) | 423

Andrey Martins de Lima; Pedro Antonio Roehe Reginato; Franciele Schwanck Carlos; Tiago de Vargas

Comportamento de nanopartículas de prata em soluções aquosas expostas à radiação solar | 432

Soraya Moreno Palácio; Laila Karoline Ferreira; Marjhorie Thais Meneguzzo Deon; Márcia Teresinha Veit; Élvio Antônio de Campos

Treatment of effluents containing diesel oil using the modified Fenton process | 442

Soraya Moreno Palácio; Fábio Rafael Gauer; Márcia Teresinha Veit

Extração de Índio de sucatas de telas LCD | 450

Natália Fernandes Piovezan; Ruan França da Conceição; Hugo Marcelo Veit

Hidrometalurgia verde aplicada à recuperação de cátodos de baterias NMC: comparação entre ácidos orgânicos solubilizados em água e etanol | 460

Leandro I. S.; Sánchez F. A. L.; Veit H. M.

Monitoramento e avaliação de uma ETA para remoção de ferro e manganês de água subterrânea | 472

Tanara Dariva Beux; Assis Reinaldo Dariva Beux

Análise do Marco Legal das Energias Renováveis no Brasil e sua Conexão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | 485

Joel Frighetto; Ana Luíza Ilher Ferreira; Marilda Machado Spindola; Pâmela Tiele Gomes

Reparo em lâmpadas LED pós-consumo com *jumpers*: uma análise preliminar de durabilidade | 496

Josimar Souza Rosa; Tales Oliveira Figueiró; Feliciane Andrade Brehm; Carlos Alberto Mendes Moraes

***Drive Thrus* de resíduos de difícil reciclabilidade: Uma análise dos resultados e seus impactos na comunidade | 506**

Bárbara Panisson Lopes; Daniel Reolon; Geovana C.Secco Garcia; Verônica Mandelli Grasselli e Victoria Reolon de Mello

Avaliação físico-química do processo combinado eletrocoagulação/ biocarvão no tratamento de efluente têxtil sintético | 518

Luciano André Deitos Koslowski; Silvana Licodiedoff; Aline Scheller Coan; Alexandre Tadeu Paulino

Desafios regulatórios energéticos, sustentabilidade e economia circular | 529
Iradi Rodrigues da Silva; Denise Papke Guske

O potencial das energias renováveis para o desenvolvimento da agricultura no Brasil | 540
Alice Soares Meira; Sabrina Cadó; Talissa Truccolo Reato; Yasmin de Camargo Borges da Silva

Produção de Biossorvente a partir de Resíduos de Tecido para Remoção de Paracetamol | 549
Marina Azeredo Coutinho; Nádia Teresinha Schröder; Renata Faria Oliveira

Avaliação dos impactos da carcinicultura na qualidade da água e sedimentos na região estuarina do baixo São Francisco, Nordeste, Brasil | 561
Larissa Santos Xavier; Carlos Alexandre Borges Garcia; Roger Dias Gonçalves; Silvânio Silvério Lopes da Costa; Vania Elisabete Schneider

Implantação de rede de monitoramento de águas subterrâneas em Sergipe: O caso do SEHRES – Sergipe *Hydrogeological Research Site* em São Cristóvão – SE | 572
Mariana de Fátima Sá de Jesus; Roger Dias Gonçalves; Silvânio Silvério Lopes da Costa; Larissa Santos Xavier; Vania Elisabete Schneider

Utilização de tecnologias ambientalmente sustentáveis para remoção de fenol em efluente de transportadora de produtos químicos | 583
Lucas Pimentel Azevedo Almeida; Marlene Guevara dos Santos; Daiana Maffessoni

A diversidade e importância dos insetos como ferramenta na aprendizagem e desenvolvimento na educação infantil | 593
Evilene Silva Pessoa; Julienne Do Vale Maciel; Jokássia da Silva Nunes; Cainã Geovana Ferreira Moura; Bruna Vitória da Silva Azevedo; Myrelle dos Santos Galvão; Luiza Daiana Araújo da Silva Formiga

Práticas de educação ambiental para crianças e adolescentes em um centro de referência em assistência social | 602
Deborah Costa de Sousa Santos; Pedro Kauê Oliveira de Sousa; Débora Thais Freitas Lima; Taynann de Sousa Silva; Luiza Daiana Araújo da Silva Formiga

Saúde e agroecologia: impactos na qualidade de vida de agricultores familiares na região sul de Santa Catarina | 612
Ana Paula de Matos; Carlyle Torres Bezerra de Menezes; Daniel Pazini Pezente; Eduardo Fernandes Martinello; Simoni Daminelli Vieira

Síntese de adsorventes catalíticos a partir de resíduos sólidos da fiação de algodão | 624

Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro; Jaqueline Elisabete Savoia; Giovana Genari Carmona; Rubiane Ganascim Marques

Avaliação do resíduo aquoso da pirólise de biomassa (bagaço de uva) no crescimento radicular da soja | 635

Alexandre Giacobbo; Valdecir Ferrari; Mateus Torres Nazari; Marco Antônio Siqueira Rodrigues; Andréa Moura Bernardes

Predicting Biomass Gasification Activation Energy Using Artificial Neural Networks | 643

Thais Coffani Costa ; Michele Di Domenico ; Claiton Zanini Brusamarello

Bagaço de Vinagre de Maçã como Fonte de Energia Renovável: Caracterização Físico-Química e Modelagem Cinética da Pirólise | 653

Larissa Fatima Rocha; Ivaldir José Tamagno Junior; José Luiz Francisco Alves; Claiton Zanini Brusamarello; Michele Di Domenico

Uso de revestimento comestível a base de pectina contendo óleo essencial de *Cymbopogom citratus* na conservação pós colheita de morangos frescos | 665

Marcia Regina Pansera; Wendel Paulo Silvestre; Valdirene Camatti Sartori; Murilo Cesar dos Santos; Gabriel Fernandes Pauletti

Utilização de óleo de pirólise de biomassa de *Cymbopogom citratus*, como inibidor de crescimento microbiano | 675

Marcia Regina Pansera; Wendel Paulo Silvestre; Vitória Maria de Miranda Zuccoloto; Murilo Cesar dos Santos; Gabriel Fernandes Pauletti

O uso de canteiros ecológicos para trabalhar Educação Ambiental | 683

Gracijane Oliveira Galvão; Joseleide Teixeira Câmara

Avaliação do Potencial do Bagaço de Malte como Combustível Renovável para uma Caldeira Flamotubular | 696

Mateus Athie Nascimento; Michele Di Domenico; Claiton Zanini Brusamarello; Luciane Batistella; Tamyris Thaise Costa de Souza

Utilização de micromolinete educacional para monitoramento de nascentes urbanas | 708

Andrea Sartori Jabur; Ana Cláudia Ueda; Guilherme Rossetto; Mariana da Silva Slaghenaufi; Fábio Kurt Schneider

O potencial do biossólido para a recuperação de áreas degradadas pela mineração | 715

Lucas Augusto Pedroso Coelho; Diego Henriques Aguiar de Melo; Lucas de Almeida Chamhum-Silva; Marina de Machado Medeiros; Sandra Aparecida Lima de Moura

A Eficácia das Políticas Públicas de Mitigação de Inundações à Luz do Direito Ambiental Brasileiro. | 728

Fernanda Furquim Bitello; Gabriel Grabowski; Bianca Kaline Ribeiro da Silvai; Marcio Lüders

Avaliação de impactos ambientais causados pela pressão urbana por meio de processamento de imagem | 740

Ana Cláudia Ueda; Andrea Sartori Jabur; Yuri Figueredo de Albuquerque Fernandes Sertório de Souza; Fábio Kurt Schneider

Caracterização físico-química da biomassa da *Euphorbia tirucalli* (avelós) visando seu aproveitamento energético | 752

Edson Fernando de Vasconcelos; Gabriela Aurora Alexandre de Vasconcellos; Michele Di Domenico; Silvia Layara Floriani Andersen; José Luiz Francisco Alves

Caracterização do bagaço de *Agave sisalana* e avaliação de seu potencial para a produção de biohidrogênio | 759

Valquíria dos Santos Lima; José Mateus de Morais; Victória Maura Silva Bermúdez; Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa; Glória Maria Marinho Silva

Margem equatorial, transição energética e o compromisso do Brasil com os ODS | 772

Giovani Spinelli de Almeida; Jordana Isse

Desafios e Oportunidades na Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Rio Grande do Sul | 783

Carine Cristina Serafim Matos; Taison Anderson Bortolin

Auditorias Ambientais e Climáticas e o Papel do INTOSAI | 799

Giovani Spinelli de Almeida; Jordana Isse

Análise preliminar da balneabilidade do Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto em Camaquã-RS | 807

Caroline Wille; Felipe Zamuner; Júlia Lesnik; Maria Alice Dos Reis; Samuel Bartz

Produção e análise do carvão ativado produzido a partir da casca de amêndoa funcionalizada com cloreto de zinco | 816

Rafaela Fernandes Homero; Eduardo Borges Lied; Ana Queiroz; António E. Ribeiro; Paulo Brito

Diagnóstico Ambiental do Delta lagunar do Rio Camaquã: Uma Abordagem Integrada | 822

Rafaela Rosiak Wolowski; Júlia Pacheco Gomes; Kamily de Alexandre Salau; Camila Ferraz Correa; Luciana Rodrigues Nogueira

Técnica de coagulação/floculação combinada com processo de separação por membrana aplicada ao tratamento de efluente de lavanderia de jeans | 832

Ana Cláudia Ueda; Matheus da Silva Rodrigues; Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro

Sequência Didática como Estratégia para a Educação Ambiental | 844

Gracijane Oliveira Galvão; Joseleide Teixeira Câmara

Análise da conservação de trechos urbanos do Arroio Duro na cidade de Camaquã/RS | 854

Alice Silveira Lopes; Camila Ferraz Corrêa; Luciana Rodrigues Nogueira; Matteo Trescastro Zenker

Modelagem e Otimização Matemática em uma Unidade Agropecuária no Oeste Paraibano | 865

André Sandmann; Marcos Roberto Portolan; Juliano Triacca; Fabiana Costa de Araujo Schütz

Potential for post-disaster soil contamination in the Sinos River Basin and implications of the climate emergency | 880

Julia Neri Gezatt; Luciana Rigon Carneiro Duarte; Kerolyn Correa Cabral1; Marcelo Oliveira Caetano; Karlos Guilherme Diemer Kochhann

Análise comparativa entre os sistemas de gestão de Resíduos da Construção Civil de dois municípios do RS | 888

Caroline Viganó Rech; Bianca Breda; Denise Peresin; Tiago Panizzon; Juliano Rodrigues Gimenez

Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea em área de influência de um Parque Aquático | 900

William Luan Deconto; Marina Elizabete Zorge; Juliano Rodrigues Gimenez; Vania Elisabete Schneider; Vania Barbosa

Utilização de agregados reciclados na produção de concretos: uma análise de viabilidade | 908

Caroline Viganó Rech; Maurício Schafer; Gustavo Ribeiro da Silva

Mapeamento Patentário de Tecnologias Aplicáveis ao Tratamento de Resíduos Sólidos | 920

Déborah Bozz; Karoline Walcanaia; Elias Lira dos Santos Junior

Indicadores de Salud Ambiental Comunitaria en una población Periurbana | 933

Dip Maderuelo; M. Rocío; Duca; Gladys; Campani; Darci; Tubino; Rejane; Bautista Blasco; Susana

Análise temporal dos fatores climáticos na bacia do Rio Piauí com a utilização da base de dados BR-DWGD | 944

Ronaldo Guilherme Santos Lima; Izaias Rodrigues de Souza Neto; Daianne Santos dos Anjos; Vania Elisabete Schneider; Ludmilson Abritta Mendes

Critérios e Ações Ambientais do ESG em Restaurantes Listados na B3 | 955

Isadora Rizzon de Vargas; Marlei Salete Mecca; Suzana Maria De Conto; Fernanda Rizzon de Vargas

Método simples e ecológico para desenvolver superfícies anticorrosivas sustentáveis em ligas de alumínio | 968

Rafaela Rocha Cunha; Guilherme Kusler Possani; Eduardo Luis Schneider; Lisete Cristine Scienza

Desenvolvimento de Materiais Gráficos como Estratégia de Mobilização Social na Elaboração de Planos Municipais | 980

João Lucas Ferronato; Denise Peresin ; Tiago Panizzon e Juliano Rodrigues Gimenez

Educação Ambiental e Segurança Hídrica: Lições e Desafios na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá/SC | 990

Sabrina Baesso Cadorin; Simoni Daminelli Vieira; Ana Paula de Matos; Carlyle Torres Bezerra de Menezes; José Carlos Virtuoso

Impacto do Grafeno em Sistemas de Filtração: Uma Análise para Membranas Especiais | 1002

Thomas Hammes; Nathália Ferronato Livinalli; Camila Baldasso; Giovani Dambros Telli

Análise da Composição Gravimétrica em um Restaurante Universitário | 1013

Gabriela Tavares Santiago; Lademir Luiz Beal

Evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior em Urussanga/SC, Brasil (1985 a 2023) | 1021

Carlyle Torres Bezerra de Menezes; Graziela Elias Zehnder; Sabrina Baesso Cadorin; Simoni Daminelli Vieira; Ana Paula de Matos

Segurança Hídrica e Adaptação Climática: Uma Abordagem Integrada no Sul de Santa Catarina | 1032

Ana Paula de Matos; Carlyle Torres Bezerra de Menezes; José Carlos Virtuoso; Mhaiandry Benedetti Rodrigues Mathias; Graziela Elias Zehnder

Condições de saneamento básico (eixos água e esgoto) e sua relação com a saúde nos estados brasileiros | 1044

Suzana Maria De Conto; Raquel Finkler; Helena Wartha Bolzon

Impactos da Mineração de Carvão na Qualidade da Água do Rio Urussanga/SC, Brasil: Diagnóstico e Desafios para a Gestão Sustentável | 1054

Carlyle Torres Bezerra de Menezes; Graziela Elias Zehnder; Sabrina Baesso Cadorin; Simoni Daminelli Vieira; Mhaiandry Benedetti Rodrigues Mathias

Condições e consequências do manejo de agrotóxicos na cultura do caqui (*Diospyros kaki*) em propriedades rurais do município de Caxias do Sul/RS | 1066

Rosane Deinani; Nilva Lúcia Rech Stedile; Vania Elisabete Schneider

Tradeoffs entre economia e meio ambiente – evidências de opinião pública no Brasil | 1080

Ednaldo Ribeiro; Gustavo César de Macêdo Ribeiro; Lucas Toshiaki Archangelo Okado; Camila Brancalhão.

Anodização da liga AA2024-T3 em eletrólito misto de ácido sulfúrico e succínico: uma estratégia sustentável na proteção à corrosão | 1092

Guilherme Kusler Possani; Eduardo Luis Schneider; Lisete Cristine Scienza

Análise urbana ambiental do bairro São Ciro, Caxias do Sul/RS | 1102

Jéssica Pereira Gobi; Gisele Cemin; Juliano Rodrigues Gimenez

Análise dos Serviços de Saneamento em São Francisco de Paula através da revisão de indicadores e aplicação do Índice de Salubridade Ambiental | 1113

Gabriela Tavares Santiago; Tiago Panizzon; Juliano Gimenez Rodrigues

A lixiviação de nutrientes e seus impactos ambientais: percepção dos produtores rurais sobre a fertilidade do solo em Campestre da Serra/RS | 1126

Renata Cornelli; Bruna Teixeira Suzin

Utilização da revisão sistemática para a análise de alternativas para uma destinação adequada ao resíduo de cabo de fibra de vidro em uma indústria metalúrgica | 1138

Renata Cornelli; Letícia Victoria Silva Freire

Desenvolvimento e aplicação de estratégias para mobilização socioparticipativa durante planejamento municipal | 1149

Luiza Grazziotin; Bianca Breda; Juliano Rodrigues Gimenez; Tiago Panizzon

Análise da influência de cinza de casca de arroz e biochar nas propriedades do concreto permeável | 1157

Vinícius Carboni Fim; Vinício Cecconello

Estimativa de recarga líquida em aquífero fraturado utilizando o método de variação dos níveis de água | 1170

Taison Anderson Bortolin; Pedro Antonio Roehe Reginato; Tiago de Vargas; Vania Elisabete Schneider

Modelo Ambiental, Social e de Governança (ESG): uma revisão da literatura sobre o conceito de materialidade | 1182

Morgana Vigolo; Wendel Paulo Silvestre; Camila Baldasso

Efeito da incorporação de resíduos nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas no estado endurecido | 1194

Handellon Kleyton de Jesus Santos; João Marcos Lima Carvalho; Laísa Fontes Santiago Chaves; Rui Barbosa de Souza; Vania Elisabete Schneider

Análise da Eficácia das Ações propostas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Farroupilha do ano de 2014 | 1210

Patrícia Braz Martins; Denise Peresin; Tiago Panizzon; Bianca Breda; Juliano Rodrigues

Desvendando os resíduos das enchentes no Rio Grande do Sul em 2024: análise, impacto e soluções sustentáveis | 1221

Julia Scholl; Isabell E. H. Radice; Daniela Fracasso; Ezequiel Capeletti; Vânia Elisabete Schneider

A salvaguarda do patrimônio cultural e natural no direito internacional | 1231

Sílvia Rafaela Scapin Nunes; Juliano Rodrigues Gimenez; Tiago Panizzon

Detecção de módulos fotovoltaicos em imagens aéreas utilizando redes neurais convolucionais | 1244

Vinícius Alex Dal Magro Peruzzo; Tiago Cassol Severo

Avaliação da Qualidade da Água do Rio Tega: Comparação com os Padrões da CONAMA 357/05 e o Índice de Qualidade da Água | 1255

Marina Elizabete Zorge; Denise Peresin; Bianca Breda; Juliano Rodrigues Gimenez

Comissão Organizadora – Universidade de Caxias do Sul

Juliano Rodrigues Gimenez – Diretor Geral
Fábio Scopel Vanin
Camila Baldasso
Rafael de Lucena Perini
Bianca Breda
Vania Elisabete Schneider

Comissão Ciêntifica

Tiago Panizzon
Vinicio Cecconello
Renata Cornelli

Comissão Organizadora – Fundação PROAMB

Diego Pereira Tarragó
Jessica de Gasperi
Gustavo Luiz Fiorese
Edenara De Marco

Apresentação

Este livro é dedicado ao 8º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, um importante evento técnico-científico para a disseminação do conhecimento ambiental. Realizado de 20 a 22 de maio de 2025, na cidade de Bento Gonçalves (RS), Brasil, o congresso reuniu mais de 500 participantes e contou com a participação de 115 artigos aprovados, apresentados aqui nesse livro.

Sob o tema "Inovação e Sustentabilidade: Desafios para um Futuro Melhor", o evento promoveu palestras, apresentações científicas e discussões colaborativas, consolidando-se como um elo entre a academia e a sociedade. Organizado pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), o congresso integrou a FiemaCon, evento simultâneo à 10ª FiemaBrasil – Feira Internacional de Tecnologia e Meio Ambiente, fortalecendo a interface entre a pesquisa e a inovação tecnológica.

A organização desta edição contou com a participação ativa dos programas de pós-graduação da Universidade de Caxias do Sul, incluindo o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – Mestrado Profissional, o Programa de Pós-Graduação em Direito – Mestrado e Doutorado Acadêmico, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias – Mestrado e Doutorado Acadêmico, e o Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão de Cidades Sustentáveis – Mestrado Profissional. A coordenação institucional esteve sob a responsabilidade do Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS), que liderou as ações de integração entre ensino, pesquisa e extensão no âmbito do evento.

Além disso, esta edição contou com a colaboração externa do Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), da Universidade Católica de Trujillo e da Universidade Andina de Cusco, do Peru, ampliando o alcance internacional e interdisciplinar do congresso.

Esta publicação reúne os artigos submetidos e aprovados para o Congresso, contribuindo para o avanço do conhecimento e incentivando soluções sustentáveis. Agradecemos a todos os participantes desta edição e esperamos que as ideias aqui compartilhadas continuem a gerar impactos positivos no meio ambiente e na sociedade.

O EVENTO

A FiemaBrasil realizou sua primeira edição em 2004, com eventos paralelos organizados pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). A edição inaugural contou com um workshop sobre Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos, enquanto a segunda edição teve como foco a Gestão Ambiental na Agricultura.

A partir da terceira edição, a organização da Feira passou a ser responsabilidade da Fundação Proamb – Bento Gonçalves Pró-Ambiente (PROAMB). Nesse mesmo ano, foi inaugurado o Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, uma iniciativa da UCS em parceria com a FiemaBrasil, colaboração que perdura até hoje.

Realizada bienalmente, a FiemaBrasil consolidou-se como a maior feira do setor ambiental do sul do Brasil, reunindo empresas, especialistas e inovações voltadas à sustentabilidade e à preservação ambiental. Paralelamente, o Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente vem se consolidando, a cada edição, como um espaço técnico-científico fundamental para associar os resultados das instituições de ciência e tecnologia ao desenvolvimento tecnológico e à inovação na dimensão ambiental. Essa relação estabelece uma conexão recíproca com a Feira, fortalecendo o diálogo entre a pesquisa aplicada e o setor produtivo, e ampliando o alcance e o impacto das soluções apresentadas.

Nesta oitava edição, o Congresso contou com o apoio e o patrocínio de auxílios à organização de eventos concedidos pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS). Esse suporte foi fundamental para a concretização do congresso, especialmente em um momento em que os recursos tecnológicos voltados à organização e à execução de eventos científicos se tornam cada vez mais sofisticados e essenciais.

A organização do evento expressa seus mais sinceros agradecimentos institucionais a essas agências de fomento, aos autores e autoras dos trabalhos submetidos e apresentados, aos palestrantes e painelistas, e a todos os participantes que, com suas contribuições, ideias e presença, tornam possível a realização deste importante encontro. São essas colaborações que fazem o Congresso se materializar a cada edição, fortalecendo o compromisso coletivo com a ciência, a inovação e a sustentabilidade.

Sustentabilidade no olhar interno: A percepção dos colaboradores sobre práticas de educação ambiental nas empresas e indústrias

Joquebede Baia Belo [1], Ruan Victor Dias Pimentel [2]
[1]*Universidade do Estado do Pará (belojoquebede@gmail.com)*
[2] *Universidade do Estado do Pará (vruan3466@gmail.com)*

Resumo: No encalço dos movimentos da indústria, política e social, a Educação Ambiental(EA) tornou-se a prática a ser desenvolvida em toda a sociedade para assegurar o equilíbrio ambiental para todos. Entendendo a importância da Educação Ambiental em todos os âmbitos sociais, este trabalho tem como objetivo avaliar a percepção dos funcionários de empresas e indústrias de grande porte com relação a EA em seus ambientes de trabalho. Este estudo entrega abordagem de pesquisa quantitativa para avaliar a percepção de Educação Ambiental no ambiente de trabalho. De acordo com os dados analisados, há um índice considerável de empresas/indústrias que não tem inserida no seu quadro funcional tais práticas. Muitas delas não possuem um treinamento específico para os funcionários, dificultando assim a contribuição dos mesmos para práticas sustentáveis no ambiente de trabalho. A incorporação da mesma no ambiente de trabalho é fundamental. As empresas comprometidas com a Educação Ambiental ganham uma imagem positiva perante clientes, investidores e comunidade. A responsabilidade social ambiental se torna parte integrante da identidade coorporativa, investir nela cria um legado sustentável para as gerações futuras.

Palavras-chave: Educação ambiental. Meio ambiente. Empresas.

Sustainability in the internal view: The perception of employees about environmental education practices in companies and industries

Abstract: In the wake of industry, political and social movements, Environental Education has become the practice to be developed throughout society to ensure environmental balance for all. Understanding the importance of environmental education in all social spheres, this work aims to evaluate the perception of employees of large companies and industries in relation to environmental education in their work environments. This study delivers a quantitative research approach to evaluate the perception of environmental education in the workplace. According to the data analyzed, there is a considerable index of companies/industries that do not have environmental education practices included in their staff. Many of them do not have specific training

for employees, thus making it difficult for them to contribute to sustainable practices in the workplace. Incorporating it into the work environment is essential. Companies committed to environmental education gain a positive image before customers, investors and the community. Environmental social responsibility becomes an integral part of corporate identity, investing in it creates a sustainable legacy for future generations.

Key words: Environmental education. Environment. Companies.

Introdução

Atualmente, no cenário globalizado, o processo de urbanização tem gerado diversos efeitos negativos para o meio ambiente (Reis; Scoton, 2023). Tais adversidades têm afetado o equilíbrio do mesmo e a vida humana, tornando necessário aprimorar o processo de conscientização e discussão desses problemas em todos os âmbitos sociais, por meio de estratégias que possam acompanhar o progresso e instigar novas atitudes e condutas eficientes (Baltazar, 2021). De acordo com Baltazar (2021) o processo de globalização atual depara-se com o desafio de corresponder ao permanente crescimento a nível mundial da procura de bens de produção e consumo, enquanto se assegura o desenvolvimento sustentável da existência humana na sua dimensão social, ambiental e econômica.

No encalço dos movimentos da indústria, política e sociedade, a Educação Ambiental (EA) tornou-se a prática a ser desenvolvida em toda a sociedade para assegurar o equilíbrio ambiental para todos. A EA destaca-se como uma mola propulsora (Rocha, 2012), sendo considerada um processo permanente no qual os indivíduos e a comunidade tomam consciência do seu meio ambiente e adquirem conhecimentos, habilidades, experiências, valores e a determinação que os tornam capazes de agir, individual ou coletivamente, na busca de soluções para os problemas ambientais presentes e futuros (UNESCO, 1987).

Segundo Carvalho (2008), o grande desafio da Educação Ambiental é ir além da aprendizagem comportamental, empenhando-se na construção de uma cultura cidadã e na formação de atitudes ecológicas. É nesse viés que a EA deve despertar a sensibilidade para que a mudança aconteça nos níveis políticos e sociais. Nisso, Matos et. al (2010) afirmam que a Educação Ambiental assume o desafio de envolver os diferentes setores da sociedade, proporcionando uma compreensão crítica e global do ambiente, tornando os sujeitos sociais mais comprometidos com o desenvolvimento de atitudes de preservação da qualidade socioambien-

tal. Assim, a EA deve permitir o entendimento da natureza complexa do meio ambiente e a compreensão da interdependência dos elementos que compõem o ambiente, com o objetivo de utilizar racionalmente os recursos disponíveis (Dias, 2000).

A Lei federal nº 14.926 de 17 de Julho de 2024 que dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental(PNEA) e dá outras providências. Com isso, a Educação Ambiental permite a mudança efetiva de pensamento, aprimorando as ações em relação ao meio. Portanto, em outras palavras, a Educação Ambiental é um processo de aprendizado que visa sensibilizar, informar e engajar indivíduos e comunidades sobre questões ambientais, promovendo a conscientização e a adoção de comportamentos sustentáveis. Ela abrange uma variedade de abordagens, incluindo aulas formais, programas educacionais informais, campanhas de conscientização e atividades práticas, com o objetivo de cultivar uma compreensão mais profunda das interações entre os seres humanos e o meio ambiente. A PNEA menciona a EA para empresas públicas e privadas como parte do processo educativo mais amplo, todos têm direito a Educação Ambiental, incumbindo às empresas, instituições públicas e privadas, promover programas destinados à capacitação dos trabalhadores, visando à melhoria e ao controle efetivo sobre o ambiente de trabalho, bem como sobre as repercussões do processo produtivo no meio ambiente (BRASIL, 2024).

Nesse contexto, entendendo a importância da Educação Ambiental em todos os âmbitos sociais, este trabalho tem como objetivo avaliar a percepção dos funcionários de empresas e indústrias de grande porte com relação a EA em seus ambientes de trabalho.

Metodologia

Este estudo entrega abordagem de pesquisa quantitativa para avaliar a percepção de Educação Ambiental no ambiente de trabalho. E para se ter base do contexto atual dos envolvidos a respeito da percepção da EA no ambiente de trabalho, sendo ambas as empresas localizadas na região Norte do país no estado do Pará, nas quais foram utilizados um questionário eletrônico com perguntas objetivas e discursivas sobre como os colaboradores viam em seus respectivos setores a EA, e se a mesma estava inserida em vossas empresas/indústrias. Com o intuito de avaliar o nível de conscientização ambiental dos colaboradores,

identificar as práticas já adotadas e compreender as percepções sobre iniciativas ambientais na empresa.

O respectivo formulário foi repassado para o público em questão através do aplicativo de mensagens instantâneas, o WhatsApp, tendo a prática da Educação Ambiental como principal objeto de estudo e pesquisa. Assim foi realizada a aplicação do formulário eletrônico para o público alvo, onde 24 pessoas de empresas/indústrias diferentes responderam a pesquisa. Os entrevistados eram 4 (quatro) mulheres e 20 (vinte) homens, sendo uma amostragem aleatória, pois o questionário foi encaminhado em grupos e setores diferentes de empresas das quais se propuseram a participar da pesquisa. Também foram feitos levantamentos bibliográficos através de pesquisas na internet, livros, legislação, artigos e publicações em periódicos e outros materiais. A coleta de dados na forma de questionários compreende o formato de questões pré-definidas para se obter informações sobre o objeto da pesquisa (Gil, 2010). Além disso, os dados quantitativos evitam que se utilize valores pessoais do pesquisador na interpretação dos resultados obtidos, diminuindo os erros amostrais (Doxsey; De Riz, 2002).

Após a aplicação do questionário, os dados coletados, organizados e tratados através de estatística descritiva em planilha Microsoft Excel, em que os resultados encontrados foram apresentados em forma de gráfico.

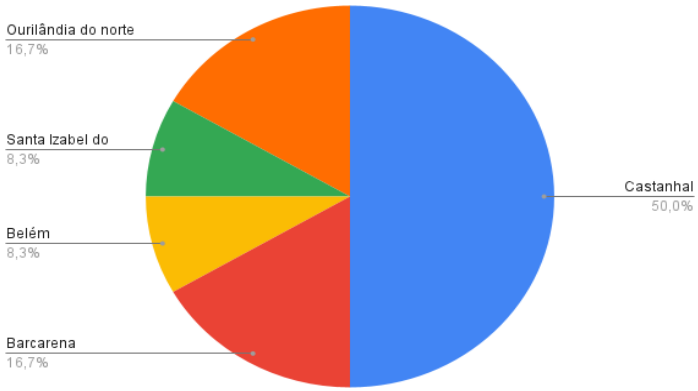
Resultados e Discussão

A Educação Ambiental disseminada na contemporaneidade é relacionada a preocupação com a degradação dos recursos naturais a nível global, na busca pela melhoria da qualidade de vida a partir de atos que propiciem mudanças na relação do homem com o meio socioambiental (Anjos, 2010). Ventura e Souza (2010), abordam que a Educação Ambiental se manifestou como uma alternativa para enfrentar a crise ambiental e ela tem um papel fundamental na formação de uma consciência crítica sobre os desafios globais, incluindo a mudança climática, a poluição, o desmatamento, a perda de biodiversidade e outros problemas relacionados ao meio ambiente. Ela ajuda a entender a relação entre as atividades humanas, incentivando a reflexão sobre como as escolhas e as ações individuais podem afetar o planeta.

Em suma, é importante que as escolas, empresas, organizações e governos invistam na Educação Ambiental como uma ferramenta es-

sencial para enfrentar os desafios ambientais globais e promover um desenvolvimento mais humano, para assim ter conhecimento sobre o assunto e poder refletir nas mudanças de atitudes (Mora *et al.*, 2020).

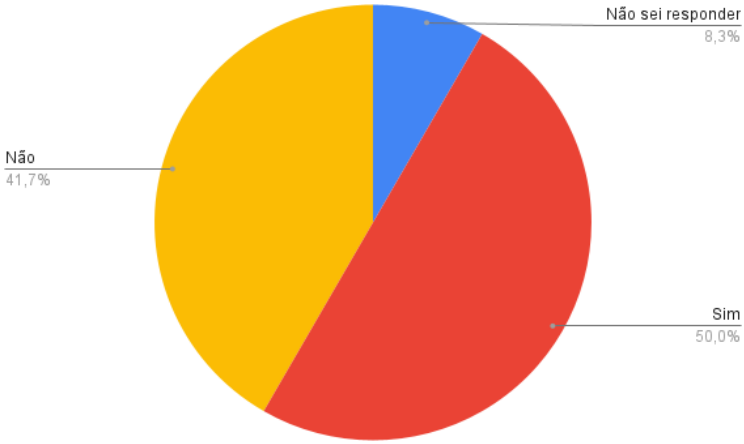
Figura 1 – Localização da empresa/indústria



Fonte: o autor, 2024

Conforme mostrado na Figura 1, a localização da empresa/indústria dos entrevistados 50% são em Castanhal. Sendo 16,7% localizadas em Barcarena, 8,3% em Santa Izabel, 16,8% em Ourilândia do Norte e 8,3% em Belém. Ambas situadas no estado do Pará, região Norte do Brasil. A Figura 2 apresenta como a empresa incentiva a conscientização ambiental entre os funcionários.

Figura 2 – Incentivo da empresa na conscientização ambiental entre os funcionários



Fonte: o autor, 2024.

O gráfico mostra que, de acordo com a percepção dos colaboradores, 50% das empresas envolvidas na pesquisa, sendo um total de 7 empresas distintas, incentivam a conscientização ambiental no seu quadro de funcionários, no entanto, 41,7% dessas empresas não fazem o mesmo. Uma empresa que incentiva a Educação Ambiental pode usufruir de diversos benefícios, tanto a curto quanto a longo prazo. Benefícios esses que podem ser definidos como: Sustentabilidade corporativa, a qual reforça a imagem da empresa como uma organização social e ambientalmente responsável; Eficiência operacional, no que diz respeito a redução de consumo dos recursos naturais e a otimização de processos, o que resulta em uma eficiência operacional e economia de custos. Em suma, incentivar a EA traz benefícios tangíveis e intangíveis, promovendo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas fortalecendo a posição da empresa no mercado, sua relação com colaboradores e sua imagem corporativa.(Bouse; Bouse, 2023). É de grande importância que as empresas no ato de admissão de seus funcionários forneçam treinamentos voltados à EA.

Como observado na Figura 3 (a), 66,7% das empresas não fornecem treinamento específico sobre educação ambiental. Para Gould (2004), a Educação Ambiental reúne o ponto de vista dos sujeitos sociais permitindo o estabelecimento de uma prática pedagógica contextualizada e crítica, apontando os problemas estruturais da sociedade, as causas do baixo padrão qualitativo da vida que levamos e da utilização do patrimônio natural como uma mercadoria e uma externalidade em relação aos seres humanos. A falta de fornecimento de treinamento específico em educação ambiental nas empresas pode acarretar em diversos pontos negativos, como por exemplo, a não conformidade com regulações ambientais e a exposição a multas e penalidades decorrentes de práticas inadequadas.

Quando perguntados se suas respectivas empresas praticavam a coleta seletiva, 58,3% dos entrevistados responderam que sim. Como observado na Figura 3 (b).

A coleta seletiva consiste na separação e recolhimento dos materiais descartados, separando matéria orgânica da não orgânica, dando correta destinação. Os principais materiais recicláveis são papéis, plásticos, vidros e metais (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2011). Outro ganho para a sociedade acontece quando os materiais recicláveis são encaminhados para centrais de triagem, mantidas por cooperativas

de catadores, que tem ali um trabalho mais digno que vai vasculhar materiais recicláveis pelas ruas ou em vazadouros a céu aberto (Instituto Akatu, 2006).

A coleta seletiva é de extrema importância para o desenvolvimento sustentável do planeta, pois possibilita o reaproveitamento dos materiais, destinando-os a outros fins (Ferreira, 2011). A conscientização em relação à quantidade de resíduo gerado, bem como a sua correta destinação são fatores importantes e decisivos no que diz respeito a um mundo sustentável (Singer, 2002).

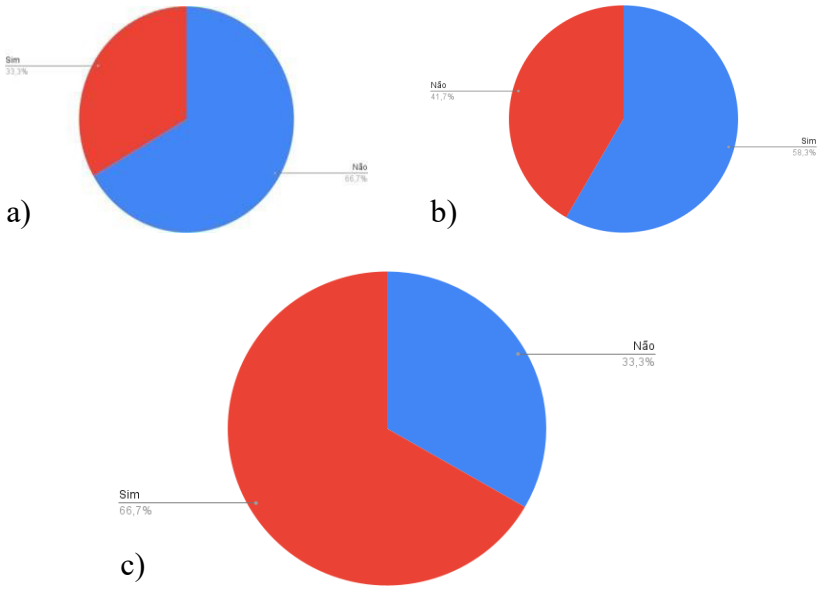
A indústria e sociedade necessitam de uma educação voltada para o melhor uso e destinação de produtos e resíduos. Dessa maneira, torna-se importante melhorar o uso, reduzir a demanda e dar uma destinação adequada a esses produtos e subprodutos de forma ambientalmente correta. Em suma, a prática da coleta seletiva é essencial para a promoção da sustentabilidade ambiental, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais tanto para a empresa quanto para a comunidade em que está inserida.

Por sua vez, a Figura 3 (c) mostra a percepção dos colaboradores na questão das práticas de reciclagem dentro do ambiente de trabalho. De acordo com os dados, 66,7% das empresas praticam a reciclagem. Assim, ao incorporar a reciclagem em suas ações, as empresas não apenas reduzem seu impacto ambiental, mas também promovem uma abordagem mais consciente e responsável em relação aos recursos naturais e à gestão responsável. A reciclagem gera economia de matéria-prima, energia e diminuí a quantidade de resíduo jogado na natureza e em aterros sanitários (Gomes e Carvalho, 2005). A maioria das empresas praticam a reciclagem indo de encontro com a ideia de Dionysio e Dionysio (2010) onde afirmam que a reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos, e reutilizá-los no ciclo de produção que saíram. É o que convencionado pelas indústrias por logística reversa, que trata de retorno de produtos, embalagens ou materiais ao seu centro produtivo, trazendo retorno às empresas (Heiden, 2007).

Através da reciclagem pode-se reutilizar vários tipos de materiais, transformando-os em outros, a fim de economizar matéria prima e minimizar os impactos causados ao meio ambiente (Singer, 2002). A reciclagem é a solução mais viável e ambientalmente correta para a destinação do resíduo, pois, com o crescimento populacional e o cres-

cente consumo da população, a produção do mesmo é muito grande e a armazenagem está ficando cada vez mais complicada e difícil, pois não há locais adequados para construção e implantação de aterros sanitários.

Figura 3



Fonte: o autor, 2024.

A última pergunta do questionário foi discursiva, e nela os colaboradores expressaram suas opiniões no que poderia mudar em seus ambientes de trabalho sobre a Educação Ambiental. A maioria das respostas foram à respeito de treinamentos específicos para o assunto, pois muitos deles não tinham conhecimento sobre a EA. Outra alternativa muito discutida foi a valorização e inserção do profissional de meio ambiente nas empresas e indústrias, alinhado assim com projetos e programas de conscientização ambiental.

De acordo com os dados analisados, há um índice considerável de empresas/indústrias que não tem inserida no seu quadro funcional as práticas de Educação Ambiental. Muitas delas não têm um treinamento específico para os funcionários, dificultando assim a contribuição dos mesmo para práticas sustentáveis dentro do ambiente de trabalho. Entendendo que a atividade perceptiva se traduz em posicionamentos, avaliações, atitudes e valores que, por sua vez, irão condicionar as relações desenvolvidas para com o meio ambiente (Bezerra *et al.*, 2022).

A percepção condiciona e é condicionada pelas atitudes assumidas em relação ao meio físico e social que alicerçam a cognição e as exterioridades perceptivas (Bezerra *et al*., 2022).

Considerações Finais

Investir em Educação Ambiental oferece uma série de benefícios para as empresas, impactando positivamente vários aspectos de suas operações e imagem corporativa. Exemplos a serem citados é a consciência e engajamento dos funcionários, eficiência operacional, redução de custos, imagem corporativa positiva, atendimento a requisitos legais, inovação sustentável, fidelização de clientes, respeito pela comunidade local, gestão eficiente de resíduos, fortalecimento da marca empregadora, entre outros. Ao investir em EA as empresas não apenas atende aos imperativos éticos e regulatórios, mas cultivam um ambiente organizacional mais sustentável, beneficiando a si, aos colaboradores e a sociedade como um todo.

Com isso, Educação Ambiental nas empresas e indústrias não é apenas uma necessidade ética, mas também uma estratégia inteligente para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. Ao cultivar uma cultura corporativa sustentável, as empresas não apenas contribuem para a preservação do meio ambiente, mas também fortalecem sua posição no mercado, atraindo consumidores conscientes e investidores comprometidos com a responsabilidade ambiental. A incorporação da mesma no ambiente de trabalho é fundamental. As empresas comprometidas com a educação ambiental ganham uma imagem positiva perante clientes, investidores e comunidade. A responsabilidade social ambiental se torna parte integrante da identidade coorporativa, investir nela cria um legado sustentável para as gerações futuras, estabelecendo práticas que contribuem para a preservação do meio ambiente a longo prazo. A inserção de práticas sustentáveis não é apenas uma medida pragmática, mas um compromisso com a coexistência harmoniosa entre a humanidade e o planeta, legando um mundo resiliente e saudável para as futuras gerações.

Referências

ANJOS, Ana Cristina chagas dos. Arte-Educação Ambiental. Uma reflexão sobre a colaboração teórica e metodológica da Arte-Educação para Educação Ambiental. 2010. 228p. Dissertação (Mestre em Artes) – Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, 2010.

BEZERRA, C. E.; GUERRA, F. S.; SILVA, J. P. da; SILVA, E. V. da .; LIMA, M. J. S.; BARROS, L. M. Percepção e Educação Ambiental: um estudo de caso no Centro de Educação de Jovens e Adultos (CEJA) no município do Crato (CE). **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [*S. l.*], v. 17, n. 5, p. 65–84, 2022. DOI: 10.34024/revbea.2022.v15.13883.

BOUSE, Brenda; BOUSE, Gabriellin. Educação Ambiental e a Sustentabilidade: Promovendo a Responsabilidade Ambiental. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 2, n. 5, 2023.

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Governo Federal, Ministério do Meio Ambiente, versão preliminar para consulta pública, setembro de 2011.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. **Educação Ambiental:** a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez Ed., 2008

DIAS, Gerebaldo Freire. Os quinze anos da Educação Ambiental no Brasil. **Em Aberto**, Brasília, v.10, nº 49, p. 3-14, Jan./Mar. 1991

DIONYSIO, Luiz Gustavo Magro; DIONYSIO, Renata Barbosa. **Lixo Urbano:** descarte e reciclagem de materiais. Trabalho apresentado a PUC, RJ, 2010.

DOXSEY, J. R.; DE RIZ, J. **Metodologia da pesquisa científica**. ESAB–Escola Superior Aberta do Brasil, [*S. l.*], v. 2003, p. 1975-1976, 2002.

FERREIRA, Roberta Celestino. Educação Ambiental e Coleta Seletiva de Lixo, Trabalho de Conclusão de Curso, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOULD, K. A. Classe social, justiça ambiental e conflito político. In: ACSELRAD, H.;HERCULANO, S.; PÁDUA, J. A. (org.). **Justiça ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

HEIDEN, Anke Iracema Von Der. Cooperativas de Reciclagem de Lixo e Inclusão Social: o caso do município de Itaúna MG. Dissertação. Universidade do Estado de Minas Gerais. FUNEDI, 2007.

MORA, Edinei Aparecido; GOMES, Patrícia Pereira; BARBADO, Norma. Práticas de Educação Ambiental como ferramentas no desenvolvimento do sentido de pertencimento do sujeito da escola do campo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e12191210911-e12191210911, 2020.

REIS, M. G.; SCOTON, E. J. Estudo Sobre os Impactos da Sustentabilidade na Indústria 4.0. **Environmental Science & Technology Innovation**, Bauru, v. 1, n.2, p. 151-170, Março 2023.

ROCHA, ACL. Educação Ambiental: Instrumento de Sensibilização Para o Sistema de Gestão Ambiental. 38f. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2012.

SINGER, P. A recente ressurreição da Economia Solidária no Brasil. In: Santos, B.S. (org.) **Produzir para viver:** Os caminhos da produção não capitalista. Rio de janeiro: Civilização Brasileira. p 81-126, 2002.

UNESCO-UNEP **International strategy for action in the field of environmental education and training for the 1990s**. Paris: UNESCO e Nairobi. 1987.

Práticas ESG e sua contribuição para a reputação empresarial: Estudo de caso na empresa Bracol

Joquebede Baia Belo [1]
[1]*Universidade do Estado do Pará (belojoquebede@gmail.com)*

Resumo: As questões ligadas ao ambiente, sociedade e governança, estão cada vez mais transpassando as decisões empresariais, assim, o ESG (*Environmental, Social and Governance*) torna-se essencial para estabelecer parâmetros e abordagens que orientam as iniciativas de responsabilidade corporativa em relação aos aspectos ambientais, sociais e de governança corporativa. O presente artigo visa abordar as práticas de ESG na empresa BSB Produtora de Equipamentos de Proteção Individual S/A, mais conhecida como Bracol, que além de buscar excelência em seus produtos, está comprometida com a sustentabilidade, responsabilidade social e governança transparente, atendendo assim ao ODS-16. A pesquisa baseia-se em uma análise qualitativa exploratória, foram feitos levantamentos bibliográficos em artigos, livros e revistas que tratam sobre o ESG e suas práticas, por relatórios cedidos pela empresa e através do site da mesma. Em 2023 a Bracol marca o início da jornada em ESG com o lançamento do Relatório de Práticas. Este marco destaca o compromisso com a responsabilidade ambiental e social, integrando práticas sustentáveis a um crescimento responsável e transparente, é crucial integrar a sustentabilidade na governança corporativa e no desenvolvimento econômico responsável. As práticas sustentáveis e socialmente responsáveis não são apenas uma escolha ética, mas também uma vantagem competitiva na busca pelo crescimento global equilibrado e responsável, sendo a Bracol um grande exemplo, servindo como um guia valioso para organizações que buscam equilibrar o crescimento global com responsabilidade ambiental, social e de governança.

Palavras-chave: ESG. Bracol. Sustentabilidade.

ESG practices and their contribution to corporate reputation: Case study of the company Bracol

Abstract: Issues related to the environment, society and governance are increasingly permeating business decisions, so ESG (Environmental, Social and Governance) becomes essential to establish parameters and approaches that guide corporate responsibility initiatives in relation to environmental, social and corporate governance aspects. This article aims to address ESG practices at BSB Produtora de Equipamentos de Proteção Individual S/A, better known as Bracol, which in addition to seeking excellence in its products, is committed to sustainability, social responsibility and transparent governance, thus meeting SDG-16. The research is based on an exploratory qualitative analysis,

bibliographic surveys were carried out in articles, books and magazines that deal with ESG and its practices, through reports provided by the company and through its website. In 2023, Bracol marks the beginning of the ESG journey with the launch of the Practices Report. This milestone highlights the commitment to environmental and social responsibility, integrating sustainable practices with responsible and transparent growth, it is crucial to integrate sustainability into corporate governance and responsible economic development. Sustainable and socially responsible practices are not only an ethical choice, but also a competitive advantage in the pursuit of balanced and responsible global growth, with Bracol being a great example, serving as a valuable guide for organizations seeking to balance global growth with environmental, social, and governance responsibility.

Key words: ESG. Bracol Model. Sustainability.

Introdução

No decorrer da última década, observou-se um aumento significativo dos investimentos em empresas que adotam práticas sustentáveis (Balassiano; Ikeda; Jucá, 2023). As questões ligadas ao ambiente, sociedade e governança, estão cada vez mais transpassando as decisões empresariais, assim, o ESG (*Environmental, Social and Governance*) torna-se essencial para estabelecer parâmetros e abordagens que orientam as iniciativas de responsabilidade corporativa em relação aos aspectos ambientais, sociais e de governança corporativa (Irigaray; Stocker, 2022).

De acordo com Wang *et al.* (2023) o conceito ESG amplifica o desempenho corporativo, propiciando oportunidades para as empresas atraírem capital externo, de modo a alcançar o desenvolvimento sustentável. Com isto, os aspectos ambientais, sociais e de governança (ESG) podem oferecer uma nova perspectiva estratégica para as decisões de negócios, principalmente, em cenários de alto engajamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (O´Donoghue, 2022).

A Assembleia Geral da ONU (Organização das Nações Unidas), em 2015, adotou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são uma chamada global para ação em áreas como erradicação da pobreza, saúde, educação, igualdade de gênero, energia limpa e muito mais. Os ODS têm forte relação com os princípios ESG, apontando muitas das questões sociais e ambientais abordadas pelo mesmo (Irigaray; Stocker, 2022). Considerando que tais práticas são caracterizadas por externalidades, não há dúvidas em relação aos benefícios que

propiciam, seja no sentido de proteção ambiental, de desenvolvimento social ou de boas práticas de governança (Wang *et al.*, 2023).

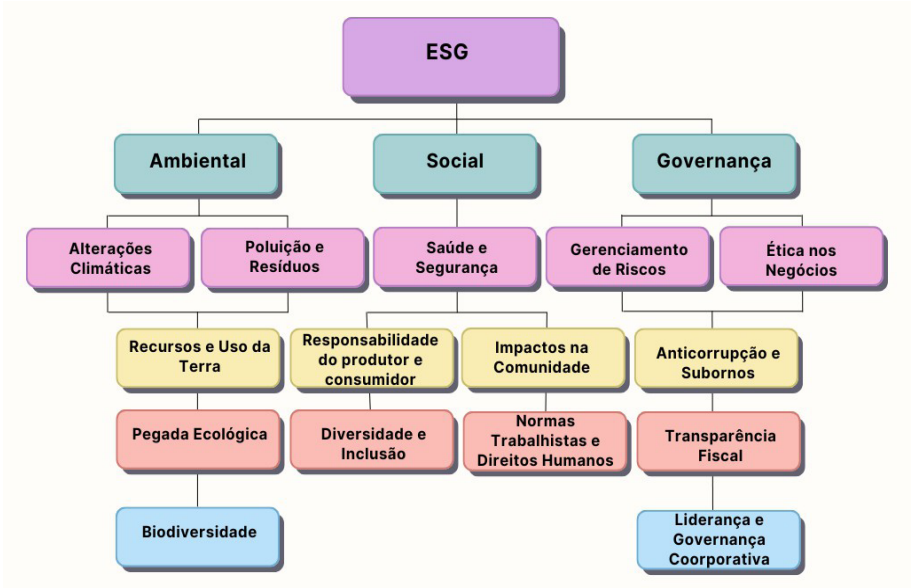
Nesse contexto, o presente artigo visa abordar as práticas de ESG na empresa BSB Produtora de Equipamentos de Proteção Individual S/A, mais conhecida como Bracol, que além de buscar excelência em seus produtos, está comprometida com a sustentabilidade, responsabilidade social e governança transparente, atendendo assim ao ODS-16. A pesquisa baseia-se em uma análise qualitativa exploratória por meio de revisões de literatura que fazem menção as práticas do ESG, e também através de relatórios fornecido pela empresa.

Revisão de Literatura

Segundo Pereira (2020), o termo ESG é uma sigla em inglês que significa Environmental (ambiental), Social (social) and Governance (Governança), e corresponde às práticas ambientais, sociais e de governança de uma organização. Tripathi, Bhandari (2014), definem o ESG como sendo caracterizado por fatores ambientais, sociais e de governança utilizados para medir o desempenho sustentável das organizações2.

De acordo com Wang *et al.* (2023) o conceito ESG amplifica o desempenho corporativo, propiciando oportunidades para as empresas atraírem capital externo, de modo a alcançar o desenvolvimento sustentável. Entretanto, os autores destacam que a questão crucial para este crescimento está na criação de valor que as práticas ESG podem propiciar a uma empresa. Por valor, nesse contexto, entende-se como a perspectiva da organização e seus gestores, considerando valor de mercado e desempenho financeiro criado pela empresa por meio da utilização de seus ativos. Ao criar valor para uma empresa, as práticas ESG motivam outras organizações a também participar ativamente dessas práticas. Considerando que tais práticas são caracterizadas por externalidades, não há dúvidas em relação aos benefícios que propiciam, seja no sentido de proteção ambiental, de desenvolvimento social ou de boas práticas de governança (Wang *et al.*, 2023). A figura 1 apresenta as métricas envolvidas nos componentes ESG.

Figura 1 – Métricas envolvidas no ESG



Fonte: adaptado de Sexana *et al.* (2023)

Environmental (Ambiental)

Silva e Carvalho (2024) afirmam que o pilar ambiental trata das práticas e políticas relacionadas à gestão dos recursos naturais, redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), conservação da biodiversidade, uso sustentável dos recursos, gestão de resíduos, eficiência energética, entre outros aspectos relacionados ao meio ambiente. Reconhecendo assim a necessidade de minimizar o impacto ambiental das atividades empresariais e dando foco na promoção da sustentabilidade a longo prazo. Atrelado a isso, muitos investidores e consumidores estão cada vez mais atentos às questões ambientais, o que torna o pilar ambiental do ESG uma consideração crítica para o sucesso a longo prazo das organizações (Redecker; Trindade, 2021).

Social (Social)

O indicador social de acordo com Bramante e Carloto (2023), é um fator bastante relevante, principalmente quando se trata do impacto que pode causar, seja ele negativo ou positivo, na vida corporativa das pessoas, o que torna o pilar social um ponto de extrema importância e influência no ESG. Este pilar é fundamental porque reconhece que

as empresas têm responsabilidades para além de seus resultados financeiros (Silva; Carvalho, 2024). E, de acordo com Redecker e Trindade (2021) empresas socialmente responsáveis desfrutam de uma maior lealdade dos funcionários, atraem talentos mais diversos e podem construir relacionamentos mais sólidos com clientes e comunidades, o que, por sua vez, pode levar a um desempenho financeiro sustentável a longo prazo.

Governance (Governança)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBGC, 2015), a governança corporativa é a forma como as instituições são geridas e incentivadas, compreendendo os relacionamentos entre todos os stakeholders, como sócios, diretoria, conselhos, colaboradores, órgãos de fiscalização e controle e demais partes interessadas. Para Saxena *et al.* (2023), a governança corporativa tem origem na teoria da agência, que é um contrato onde uma pessoa é contratada para agir em nome de outro(s), devendo ser regido por regras e processos. Uma governança sólida não apenas reduz riscos financeiros e legais, mas também ajuda a criar uma cultura corporativa ética e responsável. As empresas que adotam práticas de governança eficazes geralmente têm melhor desempenho a longo prazo e são mais resilientes a desafios externos (Silva; Carvalho, 2024).

Materiais e Métodos

Este artigo utilizou o método de pesquisa exploratória qualitativa através de um estudo de caso. As pesquisas exploratórias, de acordo com Gil (2018), costumam ser utilizadas quando se deseja obter mais detalhes acerca do campo de investigação. O local estudado foi a empresa BSB Produtora de Equipamentos de Proteção Individual S/A, a qual forneceu o relatório de práticas ESG do ano de 2023. Também, foram feitos levantamentos bibliográficos em artigos, livros e revistas que tratam sobre o ESG e suas práticas, e, por meio do site da empresa em questão.

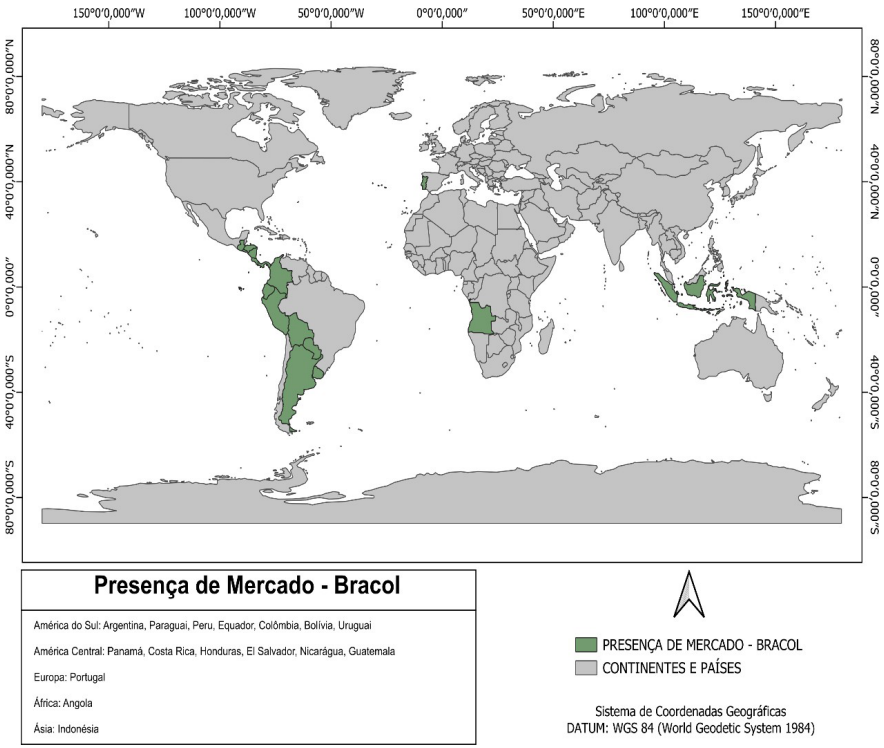
Área de Estudo

A BSB Produtora de Equipamentos de Proteção Individual S.A., conhecida como BRACOL, é uma empresa especializada na fabricação de calçados de segurança e comercialização de equipamentos de proteção

individual (EPIs). Criada em 2008, a BSB, que significa Brazil Safety Brands, tem uma trajetória marcada por inovação e compromisso com a segurança no ambiente de trabalho. Desde então, tem se empenhado em fornecer soluções de alta qualidade para garantir a proteção dos trabalhadores em diferentes âmbitos profissionais. Através de marcas bem estabelecidas no mercado, tem conquistado reconhecimento, gerando avanços significativos.

A Bracol é conhecida pela qualidade de produtos e serviços, sendo a número 1 em exportação de calçado de segurança da América Latina. Possuindo assim 3 unidades produtivas, tendo a matriz em Lins-SP, seguidas por unidades em Castanhal-PA e Eldorado-MS. Tendo uma capacidade produtiva de 15 milhões de pares por ano, entre calçados de segurança e botas impermeáveis. Assim, distribuindo para mais de 15 países, entre eles América do Sul, América Central, Europa, Ásia e África. Como mostra a figura 2.

Figura 2 – Presença de Mercado Internacional



Fonte: autor, 2024.

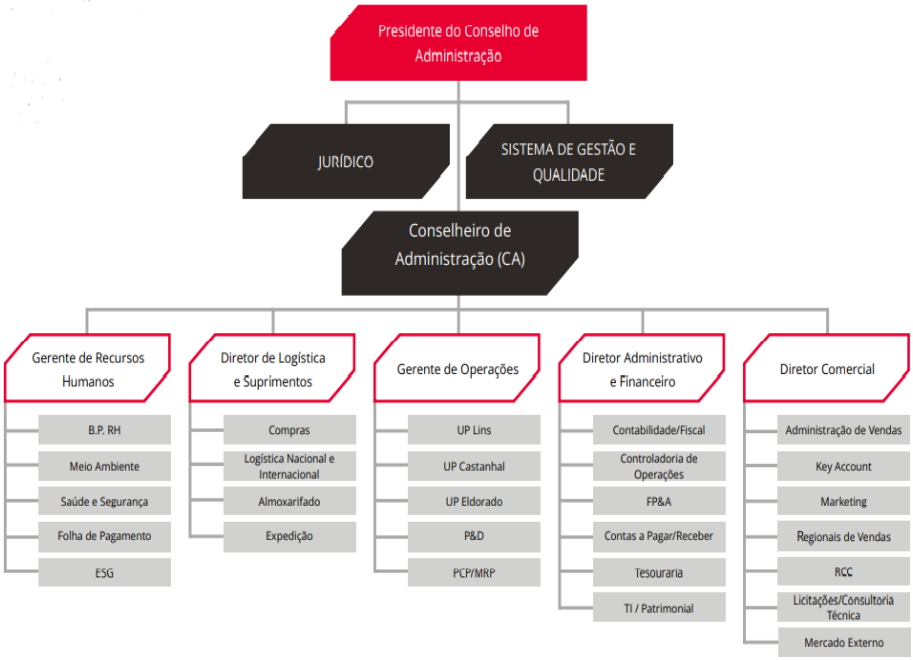
Resultados e Discussão

No ano de 2023 a Bracol marca o início da jornada em ESG com o lançamento do Relatório de Práticas. Este marco destaca o compromisso com a responsabilidade ambiental e social, integrando práticas sustentáveis a um crescimento responsável e transparente. Conforme afirma Bramante *et al.* (2023), é crucial integrar a sustentabilidade na governança corporativa e no desenvolvimento econômico responsável.

No último ano, como resultado dos esforços contínuos em direção à sustentabilidade e o compromisso com a segurança e o bem-estar dos colaboradores, a empresa foi certificada pela ISO 14001 por manter um Sistema de Gestão Ambiental. O que demonstra compromisso com a redução dos impactos ambientais nas operações e produtos. Obtendo também o certificado ISO 9001 e o certificado de energia limpa, utilizando energia proveniente de fontes limpas e/ou renováveis nas operações. De acordo com Bianchi (2008), esses instrumentos passaram a integrar o marketing da empresa que possui o certificado, representando um diferencial a mais no mercado. Isso remete a importância que as certificações ambientais estão adquirindo na economia internacional e como estão conferindo às empresas um diferencial de competitividade no mercado global.

Para fortalecer a cultura organizacional e garantir o funcionamento adequado da organização, a empresa implementa políticas que estabelecem diretrizes claras, normas e princípios de orientação no comportamento e operações de colaboradores e fornecedores. A governança é fundamental na organização para assegurar a execução dos processos com máxima eficiência. A figura 3 mostra a estrutura de governança que a empresa adota.

Figura 3 – Estrutura de governança



Fonte: Bracol, 2023.

A estrutura de governança é liderada pelo Conselho de Administração, que estabelece a visão estratégica e supervisiona todas as operações críticas e indicadores de desempenho, assegurando o cumprimento dos altos padrões éticos. Diretamente subordinadas ao conselho, as diretorias de Logística Nacional e Internacional, Suprimentos, e diversas unidades de produção, como Eldorado e Castanhal, são essenciais para manter a eficiência e a capacidade de resposta às dinâmicas do mercado, de acordo com informações cedida pela Bracol. Essas diretorias são apoiadas por áreas funcionais críticas, incluindo Controladoria & Finanças e Recursos Humanos.

Reconhece-se a importância de uma gestão proativa de riscos e a exploração de oportunidades na cadeia de valor para assegurar a sustentabilidade e a excelência operacional. A gestão da qualidade é essencial nas operações, que seguem padrões para mitigar impactos negativos e maximizar os benefícios da produção.

Outro ponto que vale ressaltar é que em 2023, iniciou as tratativas para divulgar o Programa de Recompensa, estruturado a partir de setem-

bro e posteriormente renomeado como PRB – Programa de Recompensa Bracol. O PRB foi criado com o objetivo de aumentar o comprometimento dos colaboradores e recompensá-los pelos resultados obtidos. Atualmente, está em pleno funcionamento, com prêmios trimestrais sendo distribuídos. Esse programa valoriza o esforço individual e em equipe e estimula uma cultura de planejamento e acompanhamento contínuo dos resultados.

A presença da empresa nas comunidades em que atuam é de suma importância. Com isso, foi-se assumido uma responsabilidade de contribuir positivamente nessas comunidades, com envolvimento em diversas iniciativas e projetos que buscam fortalecer o círculo social e melhorar a qualidade de vida da população. Exemplos disso são os comitês de voluntariado, integração de comunidades indígenas e diversas iniciativas sociais.

O compromisso com a responsabilidade ambiental é um dos pilares fundamentais que sustentam as operações e estratégias. A certificação ISO 14001 atesta a dedicação a uma gestão ambiental eficiente e à melhoria contínua dos processos. Em todas as etapas da operação, identifica-se e gerencia-se de forma rigorosa os aspectos ambientais. Ademais, pertencente ao mercado livre de energia e adoção de fontes energéticas incentivadas, em 2023 foi consumida 9.685.971 kWh de energia, resultando numa redução significativa das emissões de CO2, estimada em 368,78 toneladas. Tal feito proporcionou a obtenção do Certificado de Energia Limpa o que garante a rastreabilidade e a origem renovável da energia consumida. A gestão de resíduos sólidos é um fator crucial para o pilar ambiental. Para cada tipo de resíduo gerado, estabelece-se procedimentos claros de descarte e gerenciamento. Foram destinados um total anual de 39.138 kg de resíduos líquidos perigosos e 308.882 kg de resíduos sólidos perigosos. A gestão eficiente desses resíduos é crucial para minimizar os riscos ambientais e de saúde pública associados. Também, foram destinados um total anual de 1.426.311 kg de resíduos não perigosos. Esses resíduos são coletados de forma seletiva e encaminhados para aterramento, coprocessamento, blendagem ou reciclagem, conforme apropriado. A reciclagem é componente chave da estratégia de gestão de resíduos. Reutiliza-se materiais sempre que possível, contribuindo para a economia circular e reduzindo a demanda por recursos naturais.

Conclusão

A análise da empresa Bracol revela como a mesma incorpora os princípios e práticas do ESG em suas operações, influenciando na forma como a organização é gerida. A divulgação de informações ambientais, sociais e de governança, alinhadas com o compromisso corporativo de desenvolvimento sustentável, clarifica o posicionamento empresarial e suas interações com as partes interessadas (fornecedores, concorrentes, clientes, investidores, mercados, funcionários, governos e comunidades locais), repercutindo na valorização da marca e no seu valor de mercado.

Assim, as práticas sustentáveis e socialmente responsáveis não são apenas uma escolha ética, mas também uma vantagem competitiva na busca pelo crescimento global equilibrado e responsável, sendo a Bracol um grande exemplo, servindo como um guia valioso para organizações que buscam equilibrar o crescimento global com responsabilidade ambiental, social e de governança. Para além de suas possibilidades, o estudo apresenta algumas limitações, as quais podem ser sanadas com trabalhos futuros.

Referências

BIANCHI, Patrícia Nunes Lima. **Meio ambiente:** certificações ambientais e comércio internacional. Curitiba : Juruá, 2008.

BRAMANTE, I. C.; CARLOTO, S.; BRAMANTE, S. **ESG+i:** governança ambiental, social e corporativa. São Paulo, SP: Ltr Editora, 2023. *E-book*.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, p. 26-132, 2018.

IBGC. Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. Disponível em: https://www.ibgc.org.br/. Acesso em 10 novembro 2024

IRIGARAY, H. A. R.; STOCKER, F. **ESG:** novo conceito para velhos problemas. EBAPE, v. 20, n. 4, 2022.

O'DONOGHUE, I. M. (2022). **La contribución de las grandes multinacionales a la agenda de desarrollo 2030**.

PEREIRA, C. REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL. **ESG:** Entenda o significado da sigla ESG (Ambiental, Social e Governança) e saiba como inserir esses princípios no dia a dia de sua empresa, 2020.

REDECKER, A. C.; TRINDADE, L. M. **Práticas de ESG em Sociedades Anônimas de Capital Aberto:** um diálogo entre a função social instituída pela lei 6.404/76 e a Geração de Valor. PUC/RS, v. 2, p. 59–125, 2021.

SAXENA, A. *et al.* Technologies Empowered Environmental, Social, and Governance (ESG): An Industry 4.0 **Landscape. Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 1, 1 jan. 2023.

SILVA, A. C.; CARVALHO, F. de M. (2024). Relação entre práticas ESG e desempenho empresarial: uma revisão sistemática da literatura. **Revista De Gestão E Secretariado**, 15(1), 1425–1456. https://doi.org/10.7769/gesec.v15i1.3430

WANG, N. *et al.* How do ESG practices create value for businesses? Research review and prospects. Sustainability Accounting, Management and Policy JournalEmerald Publishing, , 2023.

WEB, S. Bracol. Disponível em: https://bracol.pro/. Acesso em: 21 nov. 2024.

Vulnerabilidade ambiental das unidades territoriais das paisagens do Sudoeste do Paraná

Julio Caetano Tomazoni[1], Elisete Guimarães[2],Eduardo Caetano Tomazoni[3]
[1] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (caetano@utfpr.edu.br)
[2] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (guimaraes@utfpr.edu.br)
[3] Universidade Positivo (eduardo_tomazoni_9@hotmail.com)

Resumo: O trabalho abrangeu o Sudoeste do Estado do Paraná, Brasil com área de 1.702.777,5469ha. No trabalho, avaliou-se a vulnerabilidade potencial que está associada a potencialidade natural sem a ação antrópica e a vulnerabilidade emergencial que está associada ao grau de impacto antrópico. Utilizando a metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico determinou-se a vulnerabilidade potencial, constatou-se que o território do Sudoeste do Paraná é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois, 66,5% de sua área possui o grau moderadamente estável; 33,2%, possui o grau medianamente estável/vulnerável; e 0,3%, tem o grau Estável. A Vulnerabilidade emergencial foi determinada a partir da vulnerabilidade para o uso da terra para quatro coleções do MapBiomas: 1992, 2002, 2012 e 2022. O grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável é o predominante. Em 1992 abrangia 67,2% do território, em 2002, 67,7%, em 2012, 64,9% e em 2022, 63,1%. O grau de vulnerabilidade moderadamente estável, aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992, abrangia 28,2% do território, em 2002, 27,3%, em 2012, 29,2% e em 2022, 30,4%. O grau Estável variou de 3,3% do território em 1992, 2,9%, em 2002, 3,0% em 2012 e 3,2% em 2022. O grau moderadamente vulnerável variou de 1,4% do território em 1992, para 3,2% em 2022. O grau vulnerável não aparece nenhum ano.

Palavras-chave: Vulnerabilidade potencial; Vulnerabilidade emergencial; Meio ambiente.

Environmental vulnerability of territorial units in the landscape of Southwest Paraná

Abstract: The work covered the territory of the Southwest of the State of Paraná, Brazil, with an area of 1,702,777.5469 ha. At work, the potential vulnerability that is associated with natural potentiality without anthropic action and emergency vulnerability that is associated with the degree of anthropic impact was evaluated. Using the methodology of ecological-economic zoning was determined the potential vulnerability, it was found that the territory of southwest of Paraná is naturally protected from environmental vulnerability,

since 66.5% of its area has moderately stable degree; 33.2%, has the mediumly stable/vulnerable degree; and 0.3%, has the stable degree. Emergency vulnerability was determined from the vulnerability for land use to four Mapbiomas collections: 1992, 2002, 2012 and 2022. The degree of medium stable/vulnerable vulnerability is predominant. In 1992 it covered 67.2% of the territory, in 2002, 67.7%, in 2012, 64.9% and 2022, 63.1%. The degree of moderately stable vulnerability appears in second place, with the following behavior: in 1992, it covered 28.2% of the territory, in 2002, 27.3%, in 2012, 29.2% and 2022, 30.4 %. The stable degree ranged from 3.3% of the territory in 1992, 2.9%, in 2002, 3.0% in 2012 and 3.2% in 2022. Moderately vulnerable degree ranged from 1.4% of the territory in 1992 , to 3.2% in 2022. The vulnerable degree does not appear any year.

Key words: Potential vulnerability; Emergency vulnerability; Environment

Introdução

Após a revolução industrial, no Planeta Terra iniciou-se um processo de intensa poluição ambiental. Nas últimas décadas, a degradação ambiental ganhou mais força, aliada às novas tecnologias de produção e ao anseio por mais lucros, num processo desenfreado de alteração ambiental.

A degradação ambiental, na moderna literatura ambiental científica e de divulgada, e quase sempre ligada à uma mudança artificial ou perturbação de causa humana, é geralmente uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente. O agente causador de degradação ambiental é sempre o ser humano, pois processos naturais não degradam o ambiente, apenas causam mudanças (Sánchez, 2013).

O processo erosivo é um fenômeno natural no contexto do equilíbrio dinâmico ambiental, no entanto, a ação antrópica, através do desmatamento de áreas geomorfologicamente ativas, através do desnudamento e manejo inadequado dos solos em práticas agrícolas ou loteamentos urbanos, para citar alguns exemplos, podem intensificar severamente as taxas de erosão, resultando prejuízos de ordem ambiental, econômica e social (Nörnberg; Rehbein, 2021).

Para mensurar a perda de solo através de erosão hídrica laminar existem vários modelos matemáticos determinantes que podem ser empregados, envolvendo a modelagem de parâmetros ambientais e dos processos dinâmicos envolvidos. A modelagem para a análise dos efeitos do uso do solo e dos processos hidrossedimentológicos possibilita integrar um conjunto de parâmetros e procedimentos de simulação que consegue assemelhar-se às condições reais, auxiliando no entendimento

da situação atual da área onde for aplicada, bem como no planejamento de ações preventivas (Vansan; Tomazoni, 2020).

Um modelo em destaque é a análise da vulnerabilidade à perda de solo proposta por (Crepani *et al.*, 2008). Para eles a noção de vulnerabilidade tem sido matéria de discussão entre os termos utilizados quando se trata de riscos e vulnerabilidades.

Crepani *et al.* (1996 apud Crepani *et al.*, 2008), criaram um modelo no qual buscaram a avaliação de forma relativa e empírica do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem, denominada Unidade Territorial Básica – UTB. O modelo apresenta três categorias morfodinâmicas, onde se tem como resultado a atribuição de valores que variam de 1,0 a 3,0 e ao identificar a condição morfodinâmica tende-se a apresentar estabilidade ou instabilidade.

Após essa primeira aproximação Crepani *et al.* (2008), procuraram contemplar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, construindo uma escala de vulnerabilidade à perda de solo para situações que ocorressem naturalmente.

Na tabela que os autores mencionados apresentam na página 299 do trabalho deles, quando há o predomínio de processos pedogenéticos, atribuíram-se valores próximos a 1; nas situações intermediárias o valor atribuído fica em torno de 2; já, quando predominam os processos morfogenéticos atribuíram-se valores próximos a 3. Na escolha das cores obedeceram aos critérios de comunicação visual associando às cores quentes as matizes do vermelho, amarelo e laranja e às cores frias as matizes do azul e do verde.

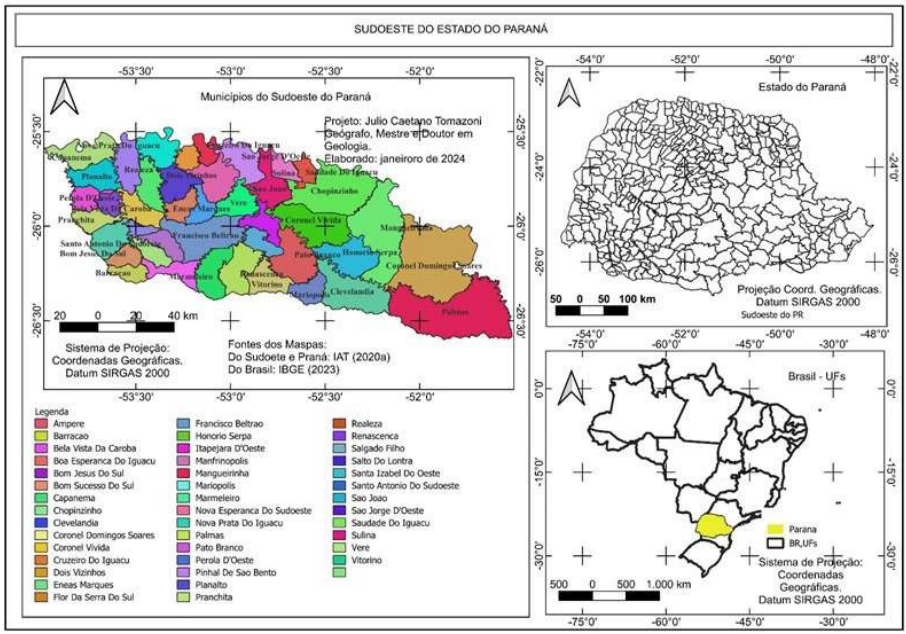
Assim sendo, este trabalho tem como objetivo realizar uma aplicação prática da metodologia de mapeamento da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo desenvolvida por Crepani *et al.*, (2008), visando apresentar métodos para avaliar e controlar a erosão do solo. O trabalho foi desenvolvido sobre o território do Sudoeste do Estado do Paraná, Brasil, utilizando o SIG QGIS 3.34.

Material e métodos

O Sudoeste, indicado na Figura 1 é constituído por 42 municípios e está localizado no Estado do Paraná, Brasil e possui Área de 1.702.777,5469 ha ou 17.027,775469km^2 e Perímetro de 1.076.687m

ou 1.076,687km. O Sudoeste corresponde a 8,54% da área do Estado do Paraná.

Figura 1 – Municípios do Sudoeste e Localização no Estado do Paraná e Brasil.



Fonte: IAT (2020) e IBGE (2023)

Mapeamento de vulnerabilidade à perda de solo

Para Crepani, Medeiros e Palmeira (2008), o mapa de vulnerabilidade à perda de solo representa a análise do meio físico e biótico para a ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais.

Na metodologia adotada neste estudo para geração do mapa final de vulnerabilidade à perda de solo, cada componente da paisagem: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação/uso da terra e clima é uma imagem raster com resolução espacial de 30 m do banco de dados do software Qgis 3.34. Essas imagens têm o valor de seus pixels numa escala de 1 a 3.

Vulnerabilidade potencial

A vulnerabilidade potencial está associada a potencialidade natural sem a ação antrópica. Para determina-la utilizou-se a equação 1, a qual foi introduzida na Ferramenta do Qgis 3.34 Raster/Calculadora raster.

$$Vp = \frac{G + R + S + Vg + C}{5}$$

Em que: Vp – Vulnerabilidade potencial das unidades de paisagens; G – Vulnerabilidade para o tema geologia; R – Vulnerabilidade para o tema geomorfologia; S – Vulnerabilidade para o tema solos; Vg – Vulnerabilidade para o tema vegetação/uso da terra; C – Vulnerabilidade para o tema clima.

Vulnerabilidade emergencial

Á Vulnerabilidade emergencial está associada com a relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade potencial. Para calcula-la utilizou-se a Equação 2. Todo o processo de sistematização para cálculo da vulnerabilidade emergencial no QGIS 3.34, consta em um fluxograma na Figura 2.

$$Ve = \frac{(Vp + Vg)}{2}$$

Em que: Ve = Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagens; Vp = Vulnerabilidade Potencial da Unidade de Paisagem; Vg = Vulnerabilidade para o Uso da Terra.

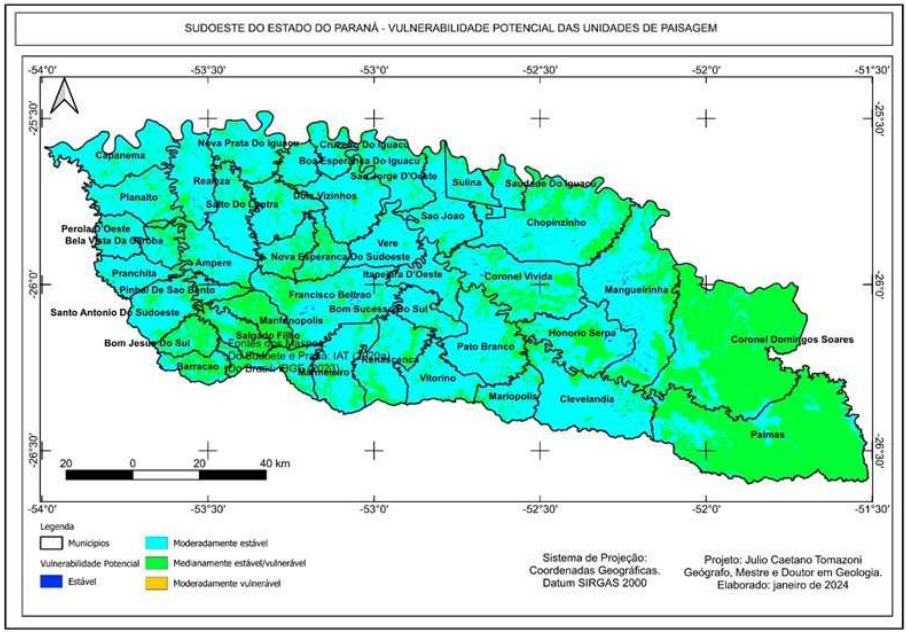
Resultados

Vulnerabilidade potencial

Ao analisar-se a vulnerabilidade potencial, que está associada a potencialidade natural sem a ação antrópica, pela Figura 2, constata-se que o território do Sudoeste do Paraná é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois, 66,5% (1.132.523,9499ha) de sua área possui índice de 1,4 a 1,7, o que corresponde ao grau Moderadamente estável; 33,2% (565.361,3833ha), possui índice 1,8 a 2,2, grau Medianamente estável/vulnerável; e 0,3% (4.892,2137ha), tem índice 1,0 a 1,3, grau Estável.

A contribuição dos temas na formação da vulnerabilidade potencial foi: em primeiro lugar vulnerabilidade ao tipo de solo, em segundo lugar a geomorfologia, em terceiro lugar o clima, em quarto lugar a geologia e por último em quinto lugar a vegetação primitiva.

Figura 2 – Vulnerabilidade Potencial das Unidades de Paisagem.



Fonte: os autores (2024).

Vulnerabilidade emergencial

Determinado a Vulnerabilidade emergencial, que é resultante da relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade potencial, analisando as Figuras 3 e 4 e Tabela 1, é possível efetuar as seguintes constatações:

O grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável (índice 1,8 a 2,2) é o predominante. Em 1992 abrangia 67,2% do território, em 2002, 67,7%, em 2012, 64,9% e em 2022, 63,1%. Esse decréscimo na abrangência do território de 1992 para 2022 de 4,1%, se deve a diminuição das áreas com atividade agropecuária no período, mais vulneráveis, e o aumento das áreas de floresta e reflorestamento, menos vulneráveis.

O grau de vulnerabilidade moderadamente estável (índice de 1,4 a 1,7), aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992, abrangia 28,2% do território, em 2002, 27,3%, em 2012, 29,2% e em 2022, 30,4%. Verifica-se que no período esse tipo de vulnerabilidade, teve um aumento de 2,2%, isso se deve ao aumento das formas de uso do solo menos vulneráveis no período.

O grau Estável (índice de 1,0 a 1,3) variou de 3,3% do território em 1992, 2,9%, em 2002, 3,0% em 2012 e 3,2% em 2022.

O grau moderadamente vulnerável variou de 1,4% do território em 1992, para 3,2% em 2022. Esse aumento está associado principalmente ao incremento de área urbanas.

O grau vulnerável não aparece nenhum ano.

Figura 3 – Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem por Ano de Estudo.

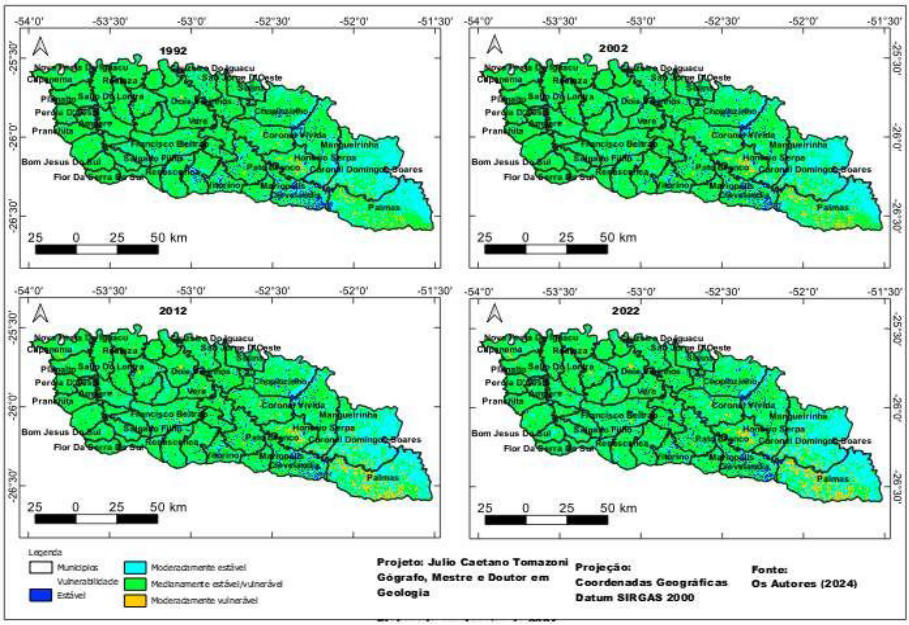


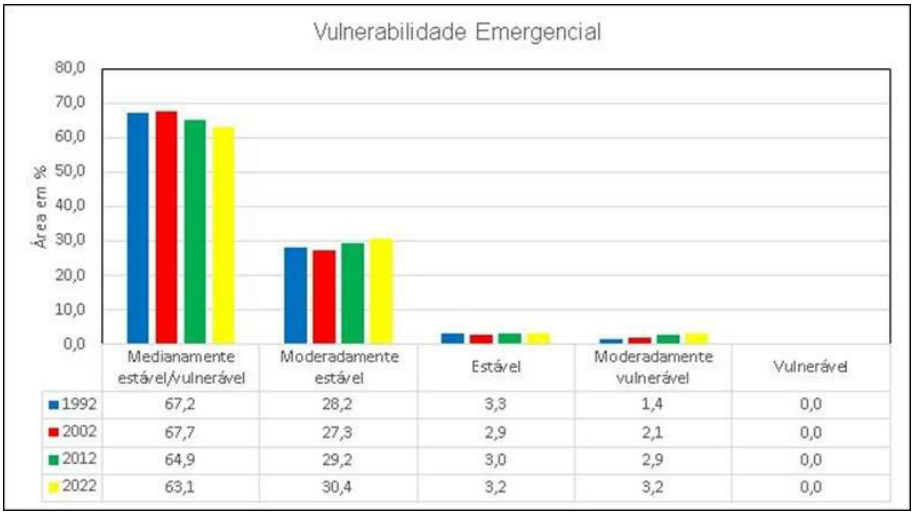
Tabela 1 – Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem

Vulnerabilidade		Área ha			
Índice	**Grau**	**1992**	**2002**	**2012**	**2022**
1,0 a 1,3	Estável	55660,94	49799,36	51931,97	54983,44
1,4 a 1,7	Moderadamente estável	480090,35	465058,21	496603,21	517947,14
1,8 a 2,2	Medianamente estável/ vulnerável	1143699,27	1152914,02	1105110,55	1075130,71
2,3 a 2,6	Moderadamente vulnerável	23326,99	35005,96	49131,81	54716,26

2,7 a 3,0	Vulnerável	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		**1702777,55**	**1702777,55**	**1702777,55**	**1702777,55**

Fonte: os autores (2024).

Figura 4 – Vulnerabilidade Emergencial das Unidades de Paisagem



Fonte: os autores (2024).

Discussão

Determinada a vulnerabilidade potencial, constatou-se que o território do Sudoeste do Paraná é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois, 66,5% (1.132.523,9499ha) de sua área possui índice de 1,4 a 1,7, o que corresponde ao grau Moderadamente estável; 33,2% (565.361,3833ha), possui índice 1,8 a 2,2, grau Medianamente estável/vulnerável; e 0,3% (4.892,2137ha), tem índice 1,0 a 1,3, grau Estável.

Á Vulnerabilidade emergencial está associada com a relação entre o grau de impacto antrópico e a Vulnerabilidade potencial. Para calcula-la utilizou-se a Vulnerabilidade Potencial da Unidade de Paisagem e a Vulnerabilidade para o Uso da Terra. Considerou-se para a Vulnerabilidade para o Uso da Terra para quatro coleções do MapBiomas (1992, 2002, 2012 e 2022), por isso foi possível determinar a vulnerabilidade emergencial para esses quatro anos. Feitos os cálculos efetuou-se as seguintes constatações:

O grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável (índice 1,8 a 2,2) é o predominante. Em 1992 abrangia 67,2% do território, em 2002, 67,7%, em 2012, 64,9% e em 2022, 63,1%. Esse decréscimo na abrangência do território de 1942 para 2022 de 4,1%, se deve a diminuição das áreas com atividade agropecuária no período, mais vulneráveis, e o aumento das áreas de floresta e reflorestamento, menos vulneráveis.

O grau de vulnerabilidade moderadamente estável (índice de 1,4 a 1,7), aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992, abrangia 28,2% do território, em 2002, 27,3%, em 2012, 29,2% e em 2022, 30,4%. Verifica-se que no período esse tipo de vulnerabilidade, teve um aumento de 2,2%, isso se deve ao aumento das formas de uso do solo menos vulneráveis no período.

O grau Estável (índice de 1,0 a 1,3) variou de 3,3% do território em 1992, 2,9%, em 2002, 3,0% em 2012 e 3,2% em 2022.

O grau moderadamente vulnerável variou de 1,4% do território em 1992, para 3,2% em 2022. Esse aumento está associado principalmente ao incremento de área urbanas.

O grau vulnerável não aparece nenhum ano.

Conclusões

Determinada a vulnerabilidade potencial, constatou-se que o território do Sudoeste do Paraná é naturalmente protegido da vulnerabilidade ambiental, pois, 66,5% de sua área possui o grau moderadamente estável; 33,2%, possui o grau medianamente estável/vulnerável; e 0,3%, tem o grau Estável. Á Vulnerabilidade emergencial determinou que o grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável é o predominante. Em 1992 abrangia 67,2% do território, em 2002, 67,7%, em 2012, 64,9% e em 2022, 63,1%. O grau de vulnerabilidade moderadamente estável, aparece em segundo lugar, com o seguinte comportamento: em 1992, abrangia 28,2% do território, em 2002, 27,3%, em 2012, 29,2% e em 2022, 30,4%. O grau Estável variou de 3,3% do território em 1992, 2,9%, em 2002, 3,0% em 2012 e 3,2% em 2022. O grau moderadamente vulnerável variou de 1,4% do território em 1992, para 3,2% em 2022. O grau vulnerável não aparece nenhum ano.

Referências

CREPANI E., de MEDEIROS J. S., A. F., E. F. da. PALMEIRA. SILVA.. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: T. G FLORENZANO. **Geomorfologia:** conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

IAT – Instituto Água e Terra., 2020a. Mapa de Limites Municipais do Paraná. Curitiba: Disponível em: ftp://geo_iat@200.189.114.112/2020/. Acesso em 28-12-2023.

IBGE. Malhas Territoriais. IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html. Acesso em 28-12-2023.

NÖRNBERG, S. O., REHBEIN, M. O. Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade à Perda de Solos no Municipio de Pelotas/Rs: Aplicação e Comparação de Modelos. **Revista Caminhos de Geografia**. Uberlândia-MG v. 22. n. 81 jun./2021 p. 42–59.

SÁNCHEZ L. E. **Avaliação de Impacto ambiental:** conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

VANSAN, A. P., TOMAZONI, J. C. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para Estudo da Erosão Hídrica Laminar em Microbacia Hidrográfica do Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13. n.03. P. 1117 a 1131, 2020.

Suscetibilidade erosiva da bacia do rio São José no município de Francisco Beltrão – PR

Elisete Guimarães[1], Julio Caetano Tomazoni[2], Eduardo Caetano Tomazoni[3]
[1] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (guimaraes@utfpr.edu.br)
[2] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (caetano@utfpr.edu.br)
[3] Universidade Positivo (eduardo_tomazoni_9@hotmail.com)

Resumo: Neste trabalho avalia-se a suscetibilidade natural à erosão e a suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação dos solos, da bacia do rio São José, no Município de Francisco Beltrão, PR, mais precisamente na Localidade de Nova Seção. Ao avaliar a suscetibilidade erosiva dos solos e da declividade em relação à posição na paisagem, foi possível determinar a suscetibilidade à erosão natural da bacia. Com base nesses parâmetros, constatou-se que ela é altamente suscetível à erosão natural, pois as classes alta e muito alta compreendem 89,5% do território. Já, quantificando a suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação do solo e avaliando a suscetibilidade erosiva dos solos da declividade e em relação a posição na paisagem, a erosão ficou de média a alta, de modo que somando essas duas classes totalizam 79,7% de toda a bacia. Assim sendo, destaca-se a importância do uso do solo na atenuação dos processos erosivos nessa bacia, visto que 56,3% de seu território apresenta-se coberto com matas, fato que comprova que as classes de suscetibilidade natural à erosão que eram de altamente suscetíveis natural à erosão em 89,5% do território, quando aliadas à ocupação dos solos passam para média a alta, e perfazem 79,7% de toda a bacia. Estatisticamente as duas formas de suscetibilidade estão correlacionadas em 46,5867%, indicando uma correlação fraca e são diferentes em 53,4133%.

Palavras-chave: Estudo do Solo, Ocupação dos Solos, Erodibilidade do Solo.

Erosive susceptibility of the São José River basin in the Municipality of Francisco Beltrão – PR

Abstract: This work evaluates the natural susceptibility to erosion and the natural susceptibility to erosion combined with land occupation, in the São José River watershed, in the Municipality of Francisco Beltrão, PR, more precisely in the Locality of Nova Série. By evaluating the erosive susceptibility of the soils and the slope in relation to the position in the landscape, it was possible to determine the susceptibility to natural erosion of the basin. Based on these parameters, it was found that it is highly susceptible to natural erosion, as the upper and very upper classes comprise 89.5% of the territory. Now, quantifying the natural susceptibility to erosion combined with land occupation and

evaluating the erosive susceptibility of soils on the slope and in relation to position in the landscape, erosion was medium to high, so that adding these two classes totals 79.7% of the entire basin. Therefore, the importance of soil use in mitigating erosion processes in this basin stands out, given that 56.3% of its territory is covered with forests, a fact that proves that the classes of natural susceptibility to erosion that were highly susceptible to erosion in 89.5% of the territory, when combined with land occupation they become medium to high, and make up 79.7% of the entire basin. Statistically, the two forms of susceptibility are correlated by 46.5867%, indicating a weak correlation and are different by 53.4133%.

Key words: Soil Study, Land Occupation, Soil Erodibility

Introdução

A pressão sobre os recursos naturais causada pelo aumento populacional aliada a busca por alta qualidade de vida tem aumentado exponencialmente a taxa de degradação do meio ambiente, impossibilitando o planeta de autossustentar-se. Tendências como essa, aliada a outros fatores, tem resultado em perda de terras cultiváveis, desmatamento, erosão do solo, escassez de água, esgotamento de água subterrânea, desequilíbrio ecológico, risco de poluição, deterioração da qualidade da água e degradação ambiental (Zanella; Tomazoni, 2023).

Nas últimas décadas, a expansão das áreas urbanas e o crescimento das atividades econômicas de forma intensiva, em especial no setor agrícola, têm influência negativa na suscetibilidade erosiva, através da dinâmica física ambiental, principalmente no que diz respeito à vegetação, drenagem, relevo e solos (Trindade; Rodrigues, 2016).

No ciclo hidrossedimentológico, naturalmente, a erosão do solo tem a finalidade de formação da paisagem e renovação do pedológica, mas as atividades desenvolvidas pelo homem ao longo dos anos têm ocasionado impactos na superfície terrestre e, por isso, a erosão do solo acelera e torna-se um problema nas bacias hidrográficas (Pires; De Souza, 2013).

Na erosão hídrica a desagregação ou desprendimento consiste na primeira etapa do processo erosivo, é ocasionado pelo impacto das gotas de água das chuvas em solo exposto ou durante as práticas de preparação do solo. Posteriormente, ocorre o transporte pelo deslocamento das partículas desagregadas do local de origem para locais mais baixos pelo escoamento superficial. As partículas de solo sem a capacidade de transporte são depositadas nesses locais e as mais finas são transportadas para córregos e rios (Pasquatto; Tomazoni, 2016).

A erosão hídrica pode ser dividida em modalidades: erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em voçorocas. Esses autores também citam que entre as modalidades de perdas de solo, no Brasil, a erosão laminar é a mais importante pois é responsável pela perda de aproximadamente 500 milhões de toneladas de solos por ano (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Para mensurar a perda de solo através de erosão hídrica laminar existem vários modelos matemáticos determinantes que podem ser empregados, envolvendo a modelagem de parâmetros ambientais e dos processos dinâmicos envolvidos. A modelagem para a análise dos efeitos do uso do solo e dos processos hidrossedimentológicos possibilita integrar um conjunto de parâmetros e procedimentos de simulação que consegue assemelhar-se às condições reais, auxilia no entendimento da situação atual da área onde for aplicada, bem como no planejamento de ações preventivas (Vansan; Tomazoni, 2012).

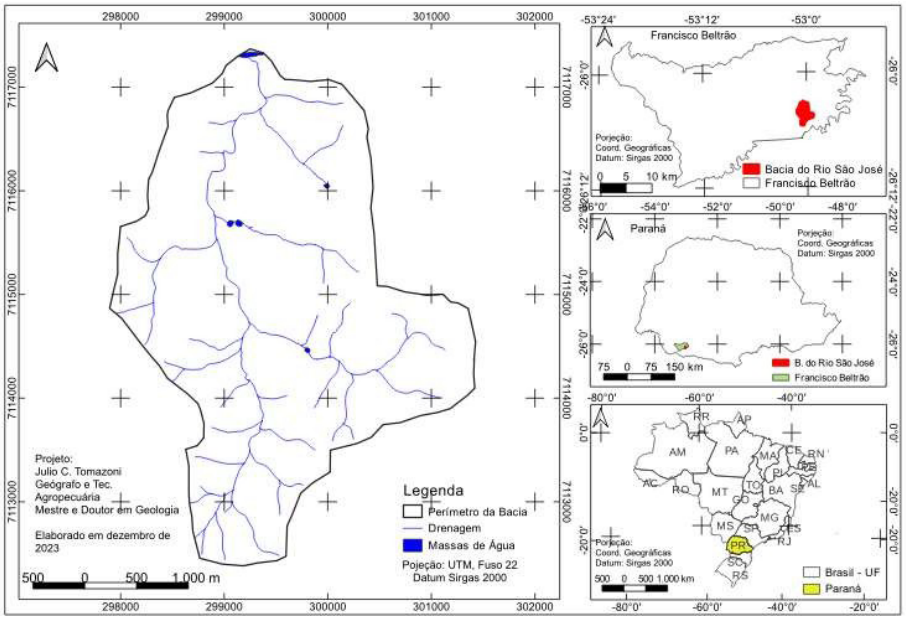
Já, para caracterizar a suscetibilidade erosiva de uma bacia são utilizados diversos modelos e, neste trabalho, será utilizado o modelo proposto por Bonna (2011), que analisa a suscetibilidade natural à erosão baseado apenas na influência do relevo na suscetibilidade à erosão e na erodibilidade dos solos e a suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos, sendo, esta última, baseada na influência do relevo, na erodibilidade dos solos e na ocupação dos solos.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo quantificar a suscetibilidade natural à erosão e a suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos, na bacia do rio São José, em Francisco Beltrão – PR.

Material e métodos

A bacia do rio São José, indicada na Figura 1, está localizada na zona rural do Município de Francisco Beltrão e possui Área de 983,0994ha e Perímetro de 14.433,2780m.

Figura 1 – Localização da bacia do rio São José, Francisco Beltrão-PR.



Fonte: os autores (2024)

Conforme o Mapa Geológico do Estado do Paraná, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM (2021) a geologia da Bacia Hidrográfica do rio São José, assim se enquadra: K1βpr – Formação Paranapanema; K1βpi – Formação Pitanga (pi).

Segundo Bhering et al (2008) e a EMBRAPA (2018), os tipos de solos que ocorrem na bacia do rio São José são: LVdf8 – Latossolo Vermelho distroférrico úmbrico; NVdf6 – Nitossolo Vermelho distroférrico típico e RRe9 – Associação Neossolo Regolítico Eutrófico chernosólico, mais Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico, mais Chernossolo Háplico Órtico léptico.

A altimetria, foi obtida, através de Modelo Digital de Elevação, baixado do site da EMBRAPA. A partir do MDE SRTM – EMBRAPA, no QGIS 3.30, foi quantificado o Relevo.

Mapeamento de suscetibilidade erosiva

Para fazer o mapeamento de suscetibilidade erosiva, utilizou-se uma correlação dos parâmetros que se acredita ter mais influência na erodibilidade dos solos da bacia do rio São José.

Observando a paisagem, fez-se a avaliação dos principais elementos que influenciam na erodibilidade dos solos da bacia e utilizando a metodologia proposta por Bonna (2011), optou-se pela utilização dos seguintes parâmetros: Características do relevo; Erodibilidade dos solos;

Ocupação dos solos

Ao tomar como base os parâmetros acima apontados, foram gerados dois mapas de suscetibilidade erosiva:

a. Mapa de suscetibilidade natural à erosão: baseado apenas na influência do relevo na suscetibilidade à erosão e na erodibilidade dos solos – cada um desses parâmetros teve peso de 50%.
b. Mapa de suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos: baseado na influência do relevo, na erodibilidade dos solos e na ocupação dos solos – cada parâmetro teve um peso de 33,3%.

Como os mapas de suscetibilidade basearam-se no cruzamento das matrizes dos mapas dos parâmetros, utilizou-se duas equações desenvolvidas por Bonna (2011), para a formulação dos mapas:

a. Mapa de suscetibilidade natural à erosão (equação 1).

$$\frac{\frac{d+p}{2}+e}{2} \quad (1)$$

b. Mapa de suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos (equação 2).

$$\frac{\frac{d+p}{2}+e+o}{3} \quad (2)$$

Em que:

e: valor atribuído a classe de erodibilidade do solo;

d: valor atribuído a classe de declividade;

p: valor atribuído a classe de posição na paisagem;

o: valor atribuído a classe de ocupação do solo;

As classes de suscetibilidade erosiva foram caracterizadas com base nos intervalos de valores que abrangem a média aritmética dos parâmetros avaliados conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de suscetibilidade erosiva.

Suscetibilidade erosiva	Valor
Ausente a baixa	1 – 2
Média	2 – 3
Alta	3 – 4
Muito alta	4 – 5

Fonte: os autores (2024)

Resultados

Determinação da suscetibilidade erosiva

Considerando a suscetibilidade erosiva dos solos, a suscetibilidade erosiva em relação às classes de declive e à suscetibilidade erosiva em relação à posição na paisagem, procedeu-se a determinação da suscetibilidade natural à erosão. As classes consideradas foram: ausente a baixa – 1 a 2; média – 2 a 3; alta – 3 a 4; e muito alta – 4 a 5.

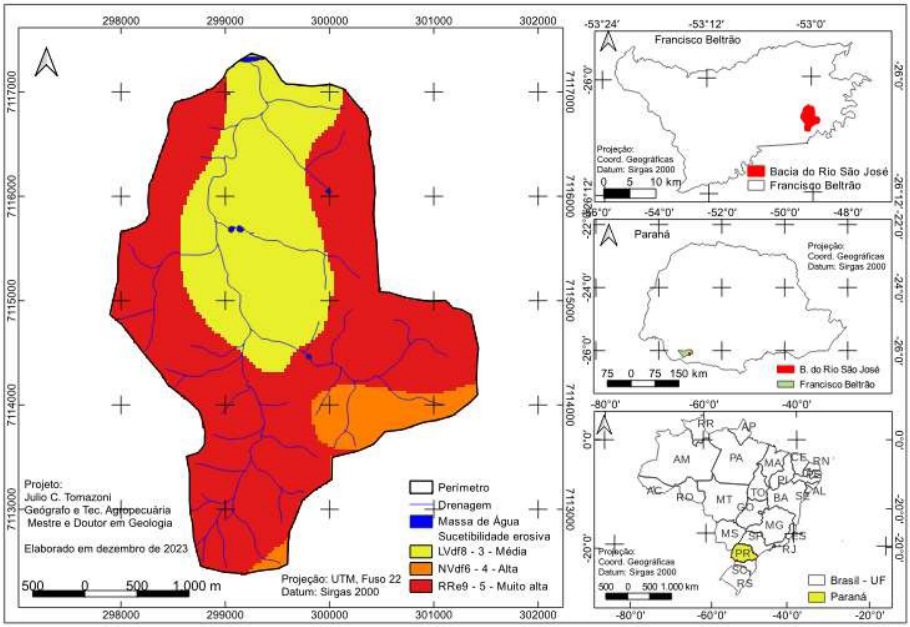
Quanto a suscetibilidade natural a erosão (Tabela 2 e Figura 2) a classe predominante na bacia considera-se como muito alta, pois ocorre em 51,9% da área; em 37,6% da bacia ocorre a alta; em 9,3%, classifica-se como média; e somente em 1,2% ocorre de ausente a baixa.

Tabela 2 – Quantificação da suscetibilidade natural à erosão.

Suscetibilidade erosiva		Área ha	% da área
Classe	Valor		
Ausente a baixa	1 – 2	11,7437	1,2
Média	2 – 3	91,4003	9,3
Alta	3 – 4	369,4247	37,6
Muito alta	4 – 5	510,5307	51,9
Total		**983,0994**	**100,0**

Fonte: os autores (2024)

Figura 2 – Suscetibilidade erosiva dos solos da bacia do rio São José, Francisco Beltrão-PR.



Fonte: os autores (2024).

Determinação da suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação dos solos

Ao considerar a suscetibilidade erosiva dos solos, a suscetibilidade erosiva em relação às classes de declive, à posição na paisagem e a ocupação do solo, procede-se à determinação da suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação do solo (Tabela 3 e Figura 3). As classes consideradas foram: ausente a baixa – 1 a 2; média – 2 a 3; alta – 3 a 4; e muito alta – 4 a 5.

A suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação do solo está demonstrada na Tabela 8. Predomina a classe alta em 54,4% da bacia; em segundo lugar aparece a classe média em 25,3% da bacia; em terceiro lugar está a classe muito alta que ocorre em 16,1% da bacia, e em quarto e último lugar está a classe ausente a baixa, que ocorre em 4,3% da bacia.

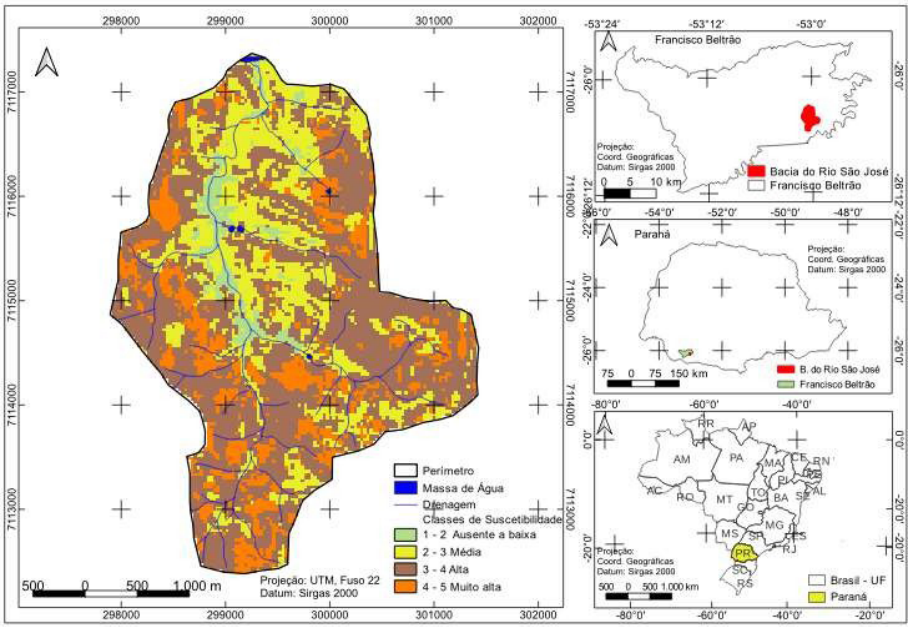
Tabela 3 – Quantificação da suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos.

Suscetibilidade erosiva		Área ha	% da área
Classe	**Valor**		
Ausente a baixa	1 – 2	42,0587	4,3
Média	2 – 3	248,6197	25,3
Alta	3 – 4	534,4732	54,4
Muito alta	4 – 5	157,9477	16,1
Total		**983,0994**	**100,0**

Fonte: os autores (2024).

Desse modo, conclui-se que considerando o uso do solo à suscetibilidade da bacia à erosão ficou de alta a média, pois somando, as duas classes ocorrem em 79,7% dessa bacia.

Figura 3 – Suscetibilidade natural à erosão aliado à ocupação dos solos.



Fonte: os autores (2024).

Para fazer uma análise estatística do objeto de estudo, como mostra a Tabela 4, realizou-se uma tabulação cruzada entre a suscetibilidade natural à erosão e a suscetibilidade natural à erosão aliado ao uso do solo. Nessa tabela os valores das colunas representam a suscetibilidade

natural à erosão e os das linhas a suscetibilidade natural à erosão aliado ao uso do solo.

Analisando as colunas suscetibilidade natural à erosão, em relação à suscetibilidade natural à erosão aliada ao uso do solo, verifica-se o seguinte: dos 11,7437ha, enquadrados na classe ausente a baixa, 6,4636ha continuaram na mesma classe e 5,2801ha passaram para a classe média; dos 91,4003ha da classe média, 35,5951ha foram para a classe ausente a baixa, 31,4075ha continuaram na mesma classe, 24,3977ha foram para a classe alta; dos 369,4247ha da classe alta, 211,9322ha foram para a classe média, 142,3805ha continuaram na mesma classe e 15,1120ha foram para a classe muito alta; dos 510,5207ha da classe muito alta, 367,6950ha passaram para a classe alta e 142,8357ha permaneceram na mesma classe. Portanto, percebe-se que as maiores mudanças foram na classe muito alta seguida pela classe alta.

Analisando estatisticamente a correlação entre a suscetibilidade natural à erosão e a suscetibilidade natural à erosão aliada ao uso do solo, obtém-se um coeficiente de correlação r 0,682545. Esse valor, se transportado para o coeficiente de determinação R2, torna-se em 0,465867. Isso significa que as duas formas de suscetibilidade à erosão estão correlacionadas em 46,5867%, indicando uma correlação fraca, e são diferentes em 53,4133%.

Tabela 4 – Tabulação cruzada da suscetibilidade natural à erosão x suscetibilidade natural à erosão aliado ao uso do solo

Suscetibilidade	**Suscetibilidade Natural à Erosão**				
NaturalErosão Aliado ao Uso do Solo	**1 a 2 – Ausente a baixa**	**Total 2 a 3 – Média**	**3 a 4 – Alta**	**4 a 5 – Muito alta**	
1 a 2 – Ausente a baixa	6,4636	35,5951	0,0000	0,0000	42,0587
2 a 3 – Média	5,2801	31,4075	211,9322	0,0000	248,6197
3 a 4 – Alta	0,0000	24,3977	142,3805	367,6950	534,4732
4 a 5 – Muito alta	0,0000	0,0000	15,1120	142,8357	157,9477
Total	**11,7437**	**91,4003**	**369,4247**	**510,5307**	**983,0994**

Fonte: os autores (2024).

Discussão

Em temos geológicos a bacia do rio São José situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, sendo coberta por rochas basálticas, cujas formações predominantes são: Formação K1βpr em 42,5% da área e a Formação K1 βpi em 57,5% da área. O intemperismo das rochas basálticas deu origem a solos rasos a medianamente profundos. As formas de relevo predominantes são o ondulado e o forte ondulado que estão em 77,5% da área.

Verifica-se, em relação à suscetibilidade erosiva, que: 1) Predominam na bacia solos com suscetibilidade erosiva de muito alta a alta em 93,0% da bacia, ou seja, predominam na bacia solos suscetíveis a erosão; 2) Quanto à suscetibilidade erosiva em relação à declividade, predominam as classes de suscetibilidade erosiva de média a alta em 77,5% da bacia; 3) Para a suscetibilidade erosiva em relação à posição na paisagem, em 78,2% da bacia onde ocorrem as vertentes, a suscetibilidade erosiva é muito alta; 4) Já para a suscetibilidade erosiva em relação às classes de ocupação dos solos, percebe-se que é uma bacia bem preservada, pois em 56,3% da área existem matas, tornando a suscetibilidade erosiva muito baixa ou ausente.

Ao avaliar a suscetibilidade erosiva dos solos, da declividade e em relação à posição na paisagem, pode-se determinar a suscetibilidade natural à erosão da bacia. Com base nesses parâmetros é possível constatar que a bacia é altamente suscetível natural à erosão, pois as classes alta e muito alta abrangem 89,5% do território.

Já, quantificando a suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação do solo, ao avaliar a suscetibilidade erosiva dos solos da declividade em relação à posição na paisagem e considerando o uso do solo à suscetibilidade da bacia à erosão, considera-se de alta a média, pois somando as duas classes nota-se que ocorrem em 79,7% de toda a bacia.

Assim sendo, a aplicação dessa metodologia, que avalia o potencial natural à suscetibilidade à erosão sem e com o uso do solo, permitiu destacar a importância do uso na atenuação dos processos erosivos nessa bacia, visto que 56,3% de seu território encontra-se coberto com matas, de modo que as classes de suscetibilidade natural à erosão que eram de altamente suscetível natural à erosão, 89,5% do território, quando aliadas à ocupação do solo, passaram de alta a média, ou seja, reduziram para 79,7% de toda a bacia. Estatisticamente as duas formas

de suscetibilidade estão correlacionadas em 46,5867%, indicando uma correlação fraca e são diferentes em 53,4133%.

Conclusões

Ao avalia-se a suscetibilidade natural à erosão e a suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação dos solos, da bacia do rio São José, em Francisco Beltrão, PR pode se efetuar as seguintes conclusões: Em relação a suscetibilidade natural à erosão, constatou-se que ela é altamente suscetível à erosão natural, pois as classes alta e muito alta compreendem 89,5% do território.

Já, a suscetibilidade natural à erosão aliada à ocupação do solo, a erosão ficou de média a alta, somando essas duas classes totalizam 79,7% de toda a bacia. Assim sendo, destaca-se a importância do uso do solo na atenuação dos processos erosivos nessa bacia, pois, 56,3% de seu território apresenta-se coberto com matas, fato que comprova que as classes de suscetibilidade natural à erosão que eram de altamente suscetíveis natural à erosão em 89,5% do território, quando aliadas à ocupação dos solos passam para média a alta, e perfazem 79,7% de toda a bacia.

Referências

Bertoni, J., Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. 8 ed. São Paulo, SP: Ícone, 2012.

Bhering S. B., Dos Santos, H. G., Bognola, I. A., Cúrcio, G. R., Manzatto, C. V., De Carvalho Junior, W., Chagas, C. S., Áglio, L. D., De Souza, J. S. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Escala 1:250.000: legenda/Silvio Barge Bhering ... [*et al.*]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

Bonna, J. L. Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto/MG). Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Escala 1:600.000, 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2018.

Pasquatto, M. C., Tomazoni J. C. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.9 N.02, 2016.

Pires, F. R., de Souza, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 3. ed. Viçosa, MG: Autor, 2013.

Trindade, S. P., Rodrigues R. A. Uso do solo na microbacia do Ribeirão Samambaia e sua relação com a suscetibilidade à erosão laminar. **Revista Geografia Acadêmica. Boa Vista**, v.10, n.1, 2016.

Vansan A. P., Tomazoni, J. C. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para Estudo da Erosão Hídrica Laminar em Microbacia Hidrográfica do Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.03, 2020.

Zanella, J. R. D., Tomazoni J. C., W. de Aguiar. Determinação da Erosão e Transporte de Sedimentos em Bacia Hidrográfica do Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.04, 2023.

Utilização de índice de vegetação para avaliação de impacto de estiagem sobre as diferentes formas de uso do solo no município de Francisco Beltrão

Julio Caetano Tomazoni[1], Elisete Guimarães[2], Eduardo Caetano Tomazoni[3]
[1] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (caetano@utfpr.edu.br)
[2] UTFPR – Campus Francisco Beltrão (guimaraes@utfpr.edu.br)
[3] Universidade Positivo (eduardo_tomazoni_9@hotmail.com)

Resumo: O objetivo deste trabalho é avaliar o índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI médio para o Município de Francisco Beltrão nas datas de 16/12/2018 e de 24/12/2021. O município tem área de 732,939 km^2. O clima predominante é o Cfa – Clima mesotérmico super úmido. Em análise no dia 16/12/2018, ficou perceptível que as áreas com cobertura arbórea abrangiam 25,34% do território; nas áreas de lavouras prenominava o cultivo de soja e, em pequena proporção, de milho num total de 51,85% do território. As áreas de pastagem atingiam 5,29%, os espaços com água cobriam 0,45%, e o solo exposto (lavoura sem plantio e a área urbana de Francisco Beltrão), totalizava 17,06% do território. Já, em 24/12/2021, as áreas com cobertura arbórea abrangiam 21,98%, as de lavouras chegavam a 59,55% e as áreas de pastagem alcançaram 3,66% do território. As áreas com água envolviam 1,65% e o solo exposto apontava 13,15% do território. Avaliando o índice médio de vegetação NDVI para o Município de Francisco Beltrão nas datas de 16/12/2018 e de 24/12/2021, obteve-se o seguinte resultado: para o NDVI, verifica-se que a estiagem provocou diminuição nos valores de média, mediana e maioria para as diferentes formas de uso. Isso mostra que a estiagem que ocorreu na safra 2021/2022 afetou o vigor vegetativo naquela ocasião. De forma geral, o NDVI apresentou um bom desempenho na avaliação dos efeitos da estiagem.

Palavras-chave: Índices de vegetação; Uso do solo; Avaliação de estiagem.

Use of vegetation index to assess the impact of drought on different forms of land use in the municipality of Francisco Beltrão

Abstract: The objective of this work is to evaluate the normalized difference vegetation index – NDVI average for the municipality of Francisco Beltrão on 12/16/2018 and 12/24/2021. The municipality has an area of 732.939 km^2. The predominant climate is Cfa – super humid mesothermal climate. In the analysis on 12/16/2018, it was noticeable that the areas with tree cover covered 25.34% of the territory; in the crop areas, soybean cultivation predominated and, to a small extent, corn, totaling 51.85% of the territory. Pasture areas reached

5.29%, spaces with water covered 0.45%, and exposed soil (unplanted crops and the urban area of Francisco Beltrão) totaled 17.06% of the territory. On 12/24/2021, the areas with tree cover covered 21.98%, the areas with crops reached 59.55% and the pasture areas reached 3.66% of the territory. The areas with water covered 1.65% and the exposed soil indicated 13.15% of the territory. Evaluating the average vegetation index NDVI for the Municipality of Francisco Beltrão on 12/16/2018 and 12/24/2021, the following result was obtained: for NDVI, it can be seen that the drought caused a decrease in the average, median and majority values for the different forms of use. This shows that the drought that occurred in the 2021/2022 harvest affected the vegetative vigor at that time. In general, the NDVI performed well in evaluating the effects of the drought.

Key words: Vegetation indices; Land use; Drought assessment.

Introdução

As estiagens impactam significativamente setores econômicos, especialmente o abastecimento urbano e a agricultura, sendo mais frequentes no Sul do Brasil durante a primavera-verão. Esse fenômeno aumenta a perda de água no solo e nas plantas, representando um risco climático para as culturas de grãos (Leivas *et al.*, 2014).

O monitoramento é crucial, pois a estiagem de 2021/2022 no Paraná resultou em uma queda de 39,17% na produção de soja, que passou de 19,822 milhões de toneladas na safra anterior para 12,056 milhões de toneladas, com produtividade média reduzida de 3.547 kg para 2.139 kg por hectare (Canal Rural, 2022).

Em Francisco Beltrão, na safra 2020/2021, a área plantada foi de 20.700 ha, com produção de 83.970 toneladas e produtividade média de 4.043,47 kg por ha (Ipardes, 2022). Na safra 2021/2022, de acordo com dados da SEAB, fornecidos por Kaspreski (2022), para a cultura da soja 1ª safra, a área plantada foi de 22.400 ha. A produção estimada era de 87.360 toneladas e a colhida real foi de 35.760 toneladas, com uma perda de 51.600 tonelada, correspondendo a 59%. A produção foi de 1.596,42 kg/ha, ou 26,6 sacas de 60 kg.

As secas ou períodos de estiagem têm se tornado fenômenos climáticos graves e recorrentes no estado do Paraná, afetando diretamente o município de Francisco Beltrão. Para analisar o vigor da vegetação durante o período crítico da soja (florescimento e enchimento de grãos), foi realizada uma pesquisa comparativa entre as safras 2018/2019 (sem estiagem) e 2021/2022 (com estiagem).

Conforme Leivas *et al.* (2014), imagens de satélite são ferramentas valiosas para o monitoramento agrícola, permitindo acesso rápido a informações em escala regional e facilitando a aquisição de dados em áreas de difícil acesso. Os índices de vegetação, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), desenvolvido por Pettorelli (2013), são essenciais para simplificar a análise de dados orbitais, destacando o comportamento espectral da vegetação em contraste com o solo e outros elementos da superfície terrestre.

O sensoriamento remoto, aliado a esses índices biofísicos, é eficaz para avaliar e monitorar a cobertura vegetal, oferecendo precisão e praticidade (Bilar; Pimentel; Cerqueira, 2018). O NDVI, em particular, ajuda a entender a dinâmica da vegetação, avaliando características como densidade, vigor, variação sazonal e distribuição no solo.

Este estudo tem a finalidade de contribuir para um melhor entendimento dos sistemas hidrológicos e suas principais características e a conexão com os eventos extremos. O monitoramento através da utilização de Índice de Vegetação para Avaliação de Impacto pode ser uma ferramenta útil para entender o comportamento da vegetação nas diferentes formas de uso, possibilitando uma previsão de disponibilidade hídrica.

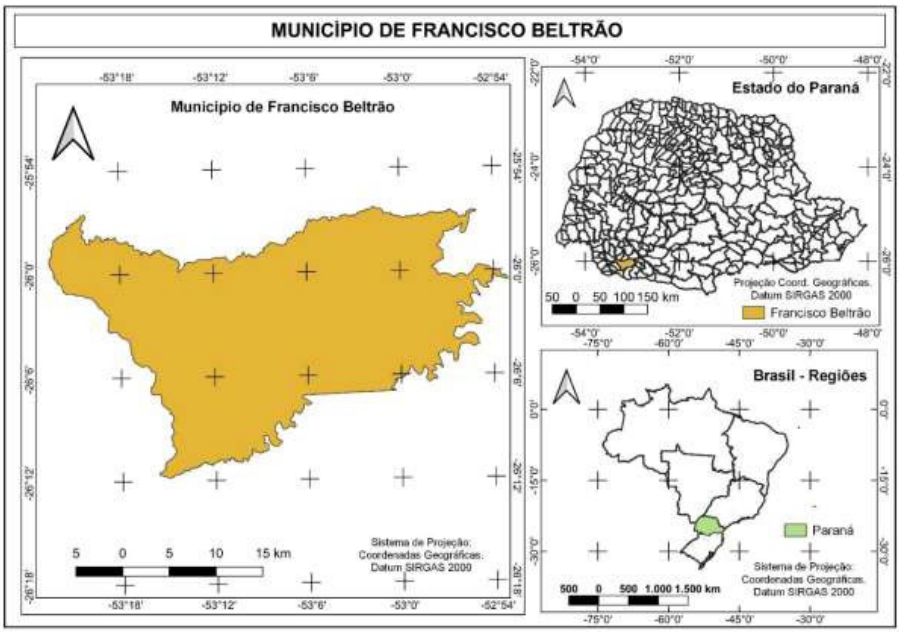
Para o estudo do vigor da vegetação em Francisco Beltrão durante a estiagem da safra 2021/2022, o uso do índice NDVI é indispensável. A comparação com a safra de 2018/2019, quando chuvas regulares ocorreram, permitirá uma avaliação mais clara do impacto da estiagem. Imagens de dezembro de 2018 foram selecionadas por estarem livres de nuvens e representarem uma safra normal, sem interferências climáticas adversas. Essa análise é crucial para entender os efeitos da estiagem na produção agrícola e na cobertura vegetal do município.

Material e métodos

O município de Francisco Beltrão, PR (Figura 1), localiza-se entre as latitudes 26°11’ S e 25°56’ S e longitudes 53°22’ W e 52°53’ W, com uma área de 732,939 km², representando 0,36% do território do Paraná. De acordo com a classificação climática de Köppen, possui clima subtropical do tipo Cfa, caracterizado por verões quentes, média mensal acima de 22 °C no mês mais quente e abaixo de 18 °C no mês mais frio, sem estação seca e com geadas menos frequentes (IAPAR, 1994, p. 6).

A precipitação anual em Francisco Beltrão, PR, varia entre 1.800 e 2.500 mm, com pouca variação espacial. A área de estudo (Município de Francisco Beltrão – Figura 1), concentra-se principalmente na agricultura, especialmente na lavoura de soja. Foram analisados os períodos de dezembro de 2018, com precipitação normal, e dezembro de 2021, marcado por déficit hídrico. Esses meses correspondem às safras 2018/2019 e 2021/2022, períodos críticos para a cultura da soja, durante o florescimento e enchimento de grãos.

Figura 1 – Município de Francisco Beltrão e sua localização no Estado do Paraná e no Brasil.



Fonte: IAT (2020) e IBGE (2023)

Neste estudo, foram utilizadas imagens orbitais captadas pelo sensor Operational Land Imager (OLI) do satélite Landsat 8, que possui resolução espacial de 30x30 metros e resolução temporal de 16 dias. As imagens correspondem às datas de passagem 16/12/2018 e 24/12/2021, com órbita/ponto 223/078, e foram obtidas gratuitamente através do site: https://earthexplorer.usgs.gov/.

Realizou-se um levantamento pluviométrico mensal do período de 2018 a 2022, através de dados obtidos junto ao Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR – e, também, através de imagens do EARTHDATA, Giovanni – The Bridge Between Data and Science v 4.38, 2023.

Para avaliar a condição da vegetação foi calculado o índice: NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada).

Inicialmente, a reflectância foi calculada através da Equação 1, desenvolvida por Allen *et al.*, (2002), para as imagens do satélite Landsat 8:

$$P\lambda' = \frac{(\mu\rho * Qca) + Ap}{\sin(\theta Se)} \quad (1)$$

Onde:

Pλ' é a reflectância.

μρ é reflectância multi_banda_x. μρ é reflectância multi_banda_x, para as imagens do Landsat 8, para as Bandas 2 a 6, nas datas de 16/12/2018 e 24/12/2021, o valor encontrado foi: 2,0000E-05 ou 0,00002.

Ap é reflectância_Add_banda X. reflectância_Add_banda X, para as imagens do Landsat 8, para as Bandas 2 a 6, nas datas de 16/12/2018, 08/12/21 e 24/12/2021, o valor encontrado foi: -0,1.

sin(θSe) é a elevação do sol.

Qca é o número digital da imagem. Qca= Banda propriamente dita.

sin(θSe) é a elevação do sol, para as imagens do Landsat 8, para as Bandas 2 a 6, nas datas te de 16/12/2018, o valor encontrado foi: 62,81001718 Sin= 0,889496275395.

sin(θSe) é a elevação do sol, para as imagens do Landsat 8, para as Bandas 2 a 6, nas datas te de 24/12/21, o valor encontrado foi: 62,00837749, Sin= 0,883016227103.

O NDVI, é uma medida utilizada para avaliar a saúde e a densidade da vegetação em uma determinada área. Ele é calculado a partir da reflectância da luz nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho. Valores de NDVI variam de -1 a 1, onde valores próximos a 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos a 0 podem indicar áreas sem vegetação ou com vegetação esparsa.

O NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1973), foi utilizado para identificar a distribuição e o desenvolvimento da vegetação, onde os valores variam entre –1 e +1. Os valores negativos correspondem aos corpos hídricos e os positivos informam sobre a exuberância da vegetação verde na superfície e elevada quantidade de biomassa, sendo determinado pela Equação 2:

$$NDVI = \frac{(Pnir - Pred)}{(Pnir + Pred)} \quad (2)$$

Onde: Pnir é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo, representado pela banda pela banda 5, do sensor OLI, do satélite Landsat 8, e Pred é o fluxo radiante refletido no vermelho da região do visível, representado pela banda 4 do sensor OLI, do satélite Landsat 8.

Resultados

Características Meteorológicas

O clima da região, conforme definido pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 1994), é classificado como Cfa, que é um clima mesotérmico superúmido. Isso significa que as temperaturas médias do mês mais quente ficam acima de 22ºC, enquanto as do mês mais frio ficam abaixo de 18ºC. Além disso, não há uma estação seca, os verões são quentes e as geadas são menos frequentes. As chuvas anuais variam entre 1800 e 2500 mm, com uma média de 173,5 mm em dezembro.

Em relação às precipitações em Francisco Beltrão, em dezembro de 2021, a variação foi de 46 a 36 mm, com uma distribuição bastante irregular. Já em dezembro de 2018, a precipitação foi mais significativa, variando de 116 a 85 mm, e apresentou uma distribuição mais uniforme ao longo do mês.

Uso do Solo

Utilizando composição colorida de imagens do Satélite Landsat 8, Sensor Oli, Bandas 4R, 5G e 3B, efetuou-se a classificação do uso do solo para as datas de 16-12-2018 e 24-12-2021. Os dados constam na Tabela 1.

Conforme Tabela 1 em 16-12-2018, a distribuição do uso do solo em Francisco Beltrão era a seguinte: cobertura arbórea (25,34%), lavouras (51,85%), pastagens (5,29%), áreas com água (0,45%) e solo exposto (17,06%). Já em 24-12-2021, os dados mostraram: cobertura arbórea (21,98%), lavouras (59,55%), pastagens (3,66%), áreas com água (1,65%) e solo exposto (13,15%).

Entre as safras 2018/2019 e 2021/2022, houve uma redução de 3,36% nas áreas com cobertura arbórea, um aumento de 7,7% nas la-

vouras, uma diminuição de 1,63% nas pastagens, um incremento de 1,2% nas áreas com água e uma redução de 3,91% no solo exposto.

Tabela 1 – Uso do Solo em dezembro de 2018 e 2021, em Francisco Beltrão

Classe	Situação em 16-12-2018		Situação em 24-12-2021	
	Área ha	% da área	Área ha	% da área
1 – Reflorestamento	2748,7593	3,75	2348,9796	3,20
2 Floresta Nativa	15823,0167	21,59	13766,7159	18,78
3 – Lavoura de alta densidade (1)	6830,4015	9,32	8017,2999	10,94
4 – Pastagem	3880,8268	5,29	2682,2115	3,66
5 – Água	328,2551	0,45	1208,5999	1,65
6 Lavoura de média densidade (1)	15680,9565	21,39	18798,3514	25,65
7 – Lavoura em estágio inicial (1)	15497,807	21,14	16829,9451	22,96
8 – Solo exposto (2)	12503,7645	17,06	9641,1084	13,15
Total	**73293,7874**	**100,00**	**73293,2117**	**100,00**

Legenda: (1) Predominam lavouras de soja e em pequena proporção, lavouras de milho. (2) Nesta categoria estão lavoura em plantio e a área urbana de Francisco Beltrão.
Fonte: os autores (2022).

Índices Médios de Vegetação: NDVI

O texto aborda a correção de efeitos atmosféricos e a detecção de estresse em lavouras por meio do NDVI. Para interpretar esses índices, são utilizados parâmetros estatísticos como média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo, intervalo, minoria, maioria, variabilidade e variância. (Vide Tabela 2).

Tabela 2 – Índices Médios NDVI, no Município de Francisco Beltrão, em 16-12-2028 e 24-12-2021

Discriminação	NDVI 16-12-18	NDVI 24-12-21
Média	0,6911	0,6351
Mediana	0,7398	0,6643
Desvio Padrão	0,1478	0,1415
Mínimo	-1,2168	-1,0010
Máximo	0,8976	0,8983
Intervalo	2,1144	1,8992
Minoria	-1,2168	-1,0010

Maioria	0,8182	0,7143
Variabilidade	738858	758845
Variância	0,0218	0,0200

Fonte: os autores (2022).

Analisando os dados do NDVI, que mede o vigor da vegetação, em duas datas: 24-12-2021 e 16-12-2018. Observa-se que a média e a mediana do NDVI em 24-12-2021 foram inferiores aos dados de 16-12-2018, que indicam menor vigor da vegetação. O desvio padrão foi considerado adequado em ambos os casos. A maioria dos valores de NDVI em 24-12-2021 (0,7143) foi significativamente menor do que os registrados em 16-12-2018 (0,8182). Além disso, houve grande variabilidade nos dados, mas a variância foi pequena para ambas as datas.

NDVI para as Diferentes Formas de Uso no Município de Francisco Beltrão

Em 16-12-2018, ao analisar a Tabelas 3 e a Figura 2, observa-se que as formas de uso com alta densidade foram: Reflorestamento (média NDVI: 0,7642; mediana: 0,7665; mínimo: 0,6864; maioria: 0,7647), Floresta Nativa (média NDVI: 0,8144; mediana: 0,8167; mínimo: 0,7451; maioria: 0,8182) e Lavoura de Alta Densidade (média NDVI: 0,8101; mediana: 0,8161; mínimo: 0,6357; maioria: 0,8000). O desvio padrão foi adequado, indicando alta variabilidade e baixa variância.

Em 24-12-2021, as médias de NDVI para as mesmas categorias foram: Reflorestamento (0,7307; mediana: 0,7326; mínimo: 0,6721; maioria: 0,7333), Floresta Nativa (0,7807; mediana: 0,7833; mínimo: 0,6825; maioria: 0,7778) e Lavoura de Alta Densidade (0,7723; mediana: 0,7696; mínimo: 0,6153; maioria: 0,7500). O desvio padrão continuou adequado.

Tabela 3 – Índices de NDVI, para as formas de uso, no Município de Francisco Beltrão, em 16-12-2018 e 24-12-2021

Característica	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
(a)Área	2748,76	15823,02	6830,40	3880,82	328,25	15680,95	15497,81	12503,76
(b)Área	2348,98	13766,71	8017,30	2682,21	1208,60	18798,35	16829,94	9641,11
(a)Média	0,7642	0,8144	0,8101	0,6786	0,3448	0,7581	0,6334	0,4462
(b)Média	0,7307	0,7807	0,7723	0,5954	0,4738	0,6600	0,5704	0,3549
(a)Mediana	0,7665	0,8167	0,8161	0,6802	0,4624	0,7587	0,6406	0,4488

(b)Mediana	0,7326	0,7833	0,7696	0,6048	0,5655	0,6661	0,5681	0,3700
(a)Desvio Padrão	0,0178	0,0179	0,0431	0,0519	0,3171	0,0356	0,0613	0,1345
(b)Desvio Padrão	0,0158	0,0231	0,0342	0,0712	0,2557	0,0500	0,0578	0,1108
(a)Mínimo	0,6864	0,7451	0,6357	0,5465	-1,2168	0,6528	0,4872	-0,5024
(b)Mínimo	0,6721	0,6825	0,6153	0,4304	-1,0010	0,4710	0,4353	-0,4570
(a)Máximo	0,8020	0,8602	0,8976	0,8424	0,7403	0,8912	0,8723	0,8377
(b)Máximo	0,7763	0,8488	0,8903	0,7707	0,7763	0,8352	0,7342	0,8983
(a)Intervalo	0,1155	0,1151	0,2618	0,2959	1,9571	0,2384	0,3852	1,3401
(b)Intervalo	0,1042	0,1663	0,2751	0,3403	1,7773	0,3642	0,2989	1,3553
(a)Minoria	0,6864	0,7451	0,6357	0,5465	-1,2168	0,6528	0,4872	-0,5024
(b)Minoria	0,6721	0,6825	0,6153	0,4304	-1,0010	0,4710	0,4353	-0,4570
(a)Maioria	0,7647	0,8182	0,8000	0,6364	-0,0104	0,7333	0,6000	0,3333
(b)Maioria	0,7333	0,7778	0,7500	0,4636	-0,2662	0,7143	0,6000	0,3333
(a)Variabilidade	29717	156908	74053	42710	3628	165113	166816	137751
(b)Variabilidade	14210	100441	47241	8565	6173	121887	108342	76531
(a)Variância	0,00031	0,00032	0,00185	0,00269	0,10056	0,00126	0,00375	0,01810
(b)Variância	0,0002	0,0005	0,0012	0,0051	0,0654	0,0025	0,0033	0,0123

Legenda: (a) em 16-12-2018, (b) em 24-12-2021, 1 – Reflorestamento, 2 Floresta Nativa, 3 – Lavoura de alta densidade, 4 – Pastagem, 5 – Água, 6 Lavoura de média densidade, 7 – Lavoura em estágio inicial, 8 – Solo exposto.
Fonte: os autores (2022).

Assim, nota-se que a estiagem afetou negativamente os valores de média, mediana e maioria para Reflorestamento, Floresta Nativa e Lavoura de Alta Densidade em 2021, com as Lavouras de Alta Densidade sendo as mais impactadas, evidenciando a influência da estiagem no vigor vegetativo daquela safra.

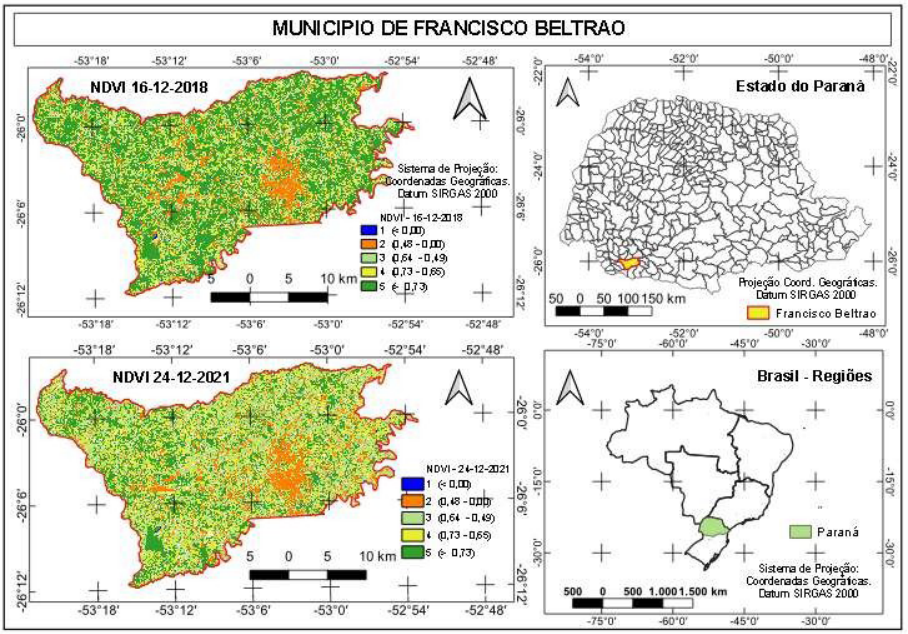
Para 16-12-2018 (Tabela 3), as formas de uso com média a baixa densidade, como Pastagem, Lavoura de Média Densidade e Lavoura em Estágio Inicial, apresentaram as seguintes médias de NDVI: 0,6786, 0,7581 e 0,6334, respectivamente. As medianas foram 0,6802, 0,7587 e 0,6406, e os valores mínimos foram 0,5465, 0,6528 e 0,4872. A maioria dos valores foi 0,6364, 0,7333 e 0,6000. O desvio padrão foi adequado para os três casos, com alta variabilidade e baixa variação.

Em 24-12-2021 (Tabela 3), as formas de uso com média a baixa densidade, como Pastagem, Lavoura de Média Densidade e Lavoura

em Estágio Inicial, apresentaram as seguintes médias de NDVI: 0,5954, 0,6600 e 0,5704, respectivamente. As medianas foram 0,6048, 0,6661 e 0,5681, enquanto os valores mínimos foram 0,4304, 0,4710 e 0,4353. A maioria dos valores foi 0,4636, 0,7143 e 0,6000. O desvio padrão foi adequado para os três casos, com grande variabilidade.

A estiagem na safra 2021/2022 provocou uma redução nos valores de média, mediana e maioria para pastagens, lavouras de média densidade e lavouras em estágio inicial, com as pastagens apresentando as maiores alterações. Isso evidencia o impacto significativo da seca no vigor vegetativo da vegetação nesse período.

Figura 2 – Índices Médios NDVI, no Município de Francisco Beltrão, em 16-12-2028 e 24-12-2021.



Legenda: 1 – Água e sombra, 2 Solo exposto, 3 Lavoura de baixa densidade e pastagem, 4 Lavoura de média densidade, 5 Reflorestamento, floresta e lavoura de alta densidade.
Fonte: os autores (2022).

Para as formas de uso sem cobertura vegetal, Água e Solo Exposto, os dados de 16 de dezembro de 2018 mostram: média do NDVI para Água (0,3448) e Solo Exposto (0,4462); medianas de 0,4624 e 0,4488, respectivamente; e valores mínimos de -1,2168 e -0,5024, com a maioria dos valores em -0,0104 e 0,3333. O desvio padrão da água é elevado,

enquanto o do solo exposto está adequado, com menor variabilidade para a água e maior variância.

Em 24 de dezembro de 2021, as médias do NDVI para Água e Solo Exposto foram, respectivamente, 0,4738 e 0,3549; as medianas foram 0,5655 e 0,3700; os valores mínimos foram – 1,0010 e -0,4570, e a maioria dos valores ficou em -0,2662 e 0,3333. O desvio padrão da água permaneceu elevado e o do solo exposto adequado, com a mesma relação de variabilidade.

Os valores da água, tanto em 2018 quanto em 2021, deveriam ser negativos, mas devido à presença de sedimentos e possivelmente algas, as médias e medianas foram positivas. Os valores mínimos para solo exposto foram mais negativos que os da água, indicando possível erro na classificação das imagens, uma vez que o índice Kappa foi de 0,85. A maioria dos valores para solo exposto foi de 0,333 em ambos os casos, e as médias e medianas foram menores em 2021, mostrando que a estiagem também afetou essa forma de uso.

Conclusões

O índice NDVI foi avaliado em Francisco Beltrão nas datas de 16-12-2018 e 24-12-2021. A análise revelou que a estiagem afetou negativamente a média, mediana e a maioria dos valores para Reflorestamento, Floresta Nativa e Lavoura de Alta Densidade, com esta última sendo a mais impactada. Isso indica que a estiagem da safra 2021/2022 prejudicou o vigor vegetativo da vegetação.

O NDVI para formas de uso de média a baixa densidade, como Pastagem, Lavoura de Média Densidade e Lavoura em Estágio Inicial, também apresentou diminuições nos valores de média, mediana e maioria em 24-12-2021. As Pastagens foram as mais afetadas, evidenciando que a estiagem da safra 2021/2022 prejudicou o vigor vegetativo da vegetação.

No caso do NDVI para as formas de uso desprovidas de cobertura vegetal, como Água e Solo, os valores deveriam ser negativos para ambas as datas (16-12-2018 e 24-12-2021). No entanto, devido à presença de sedimentos e possivelmente algas, os valores de média e mediana para a água apresentaram resultados positivos, enquanto a maioria dos valores permaneceu negativa.

Para o solo exposto, os valores mínimos foram ainda mais negativos do que os da água, o que pode indicar um erro na classificação das imagens, considerando que o índice Kappa foi de 0,85. Isso sugere que algumas áreas de água podem ter sido erroneamente classificadas como solo exposto. A maioria dos valores para o solo exposto ficou em 0,333 em ambos os casos, e os valores de média e mediana foram menores em 24-12-2021, evidenciando que a estiagem também impactou essa forma de uso.

Referências

BILAR, A. B. C.; PIMENTEL, R. M. M.; CERQUEIRA, M. A. Monitoramento da Cobertura Vegetal Através de Índices Biofísicos e Gestão de Áreas Protegidas. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 68, p.236-259, 2018.

CANAL RURAL. Colheita da safra 2021/22 de soja atinge 88% da área no Paraná.

EARTHDATA. Giovanni – The Bridge Between Data and Science. v 4.38. Disponível em: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/. Acesso em: 24 fev. 2023.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná. Londrina – PR, 1994

IPARDES. **Caderno Estatístico Município de Francisco Beltrão**. Curitiba: IPARDES, 2022 53p.

KASPRESKI, R. M. Re: Solicita dados da safra 2021/2022. Mensagem recebida pelo e-mail ricardokas@seab.pr.gov.br, em 28 de novembro de 2022.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. C.; TORRESAN, F. E.; VICENTE, L. E.; TEIXEIRA, A. H. C.; BOLFE, E. L.; DE BARROS, T. R. Avaliação do Índice de Vegetação Padronizado no Monitoramento Indicativo de Estiagens em Períodos Críticos da Soja no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, Nº 66/5, p 1145-1155, 2014.

PETTORELLI, N. **The Normalized Difference Vegetation Index**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2013. 193p.

Efeito da adição de retardantes de chama não halogenados na flamabilidade e nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas de resíduos de polietileno

Denise Passaia[1], Matheus Poletto[2]
[1]*Universidade de Caxias do Sul (denipassaia@gmail.com)*
[2]*Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) Universidade de Caxias do Sul (mpolett1@ucs.br)*

Resumo: O resíduo de polietileno (PE) do processo de fabricação de embalagens multicamadas é um material com escassas opções de reciclagem. O objetivo deste estudo é avaliar o efeito da incorporação de retardantes de chama na flamabilidade do rPE. Foram utilizados um antichama comercial (AC) a base de fósforo e também o dióxido de titânio (TiO_2). Os materiais contendo 30% em massa de retardante de chama foram misturados em um reômetro Haake. Foram avaliadas a flamabilidade, termogravimetria, densidade, resistência a flexão e ao impacto. Os resultados mostraram que nem o AC e nem o TiO_2 atuaram como retardantes de chama. O AC reduz a estabilidade térmica do material, enquanto o TiO_2 não acarreta alteração na estabilidade térmica. Os retardantes testados causaram aumento de 20% na densidade quando comparada ao rPE. A resistência a flexão e ao impacto aumentaram com a adição do AC, porém, diminuíram com TiO_2. O material desenvolvido tem potencial para aplicação, porém, outros antichamas devem ser testados para que possam contribuir com o aumento das propriedades mecânicas, bem como na redução da flamabilidade.

Palavras-chave: Resíduos. Retardante de chama. Flamabilidade.

Effect of the addition of non-halogenated flame retardants on flammability, physical, mechanical and thermal properties of polyethylene wastes

Abstract: Polyethylene (PE) waste from multilayer packaging manufacturing process is a material with few recycling options. The purpose of this study is evaluate the effect of incorporating flame retardants on the flammability of rPE. Commercial flame retardant based on phosphorous (AC) and titanium dioxide (TiO_2) were used. Samples with 30 wt% of flame retardant were mixed in a Haake rheometer. The flammability, thermogravimetry, density, flexural and impact strength were evaluated. The results showed that neither AC nor TiO_2 acted as flame retardants. The AC reduces the thermal stability of the material, while TiO_2 does not change thermal stability. The retardants tested

caused a 20% increase in density when compared to rPE. Flexural and impact properties increased with the addition of AC, however, they were reduced with TiO_2. The developed material has potential for use, however, other flame retardants should be tested, that may contribute to the increase of mechanical properties, as well as to reduce flammability.

Key words: Wastes. Flame retardant. Flammability.

Introdução

A exposição a um incêndio pode levar a morte, geralmente pela inalação dos gases, ou pelo desmaio causado por eles, ou posteriormente pelas queimaduras graves (Martins, 2013; Cristale *et al.*, 2019). Uma das principais causas de óbitos em incêndio é a exposição à fumaça tóxica ou asfixiante que ocorre nos primeiros momentos do sinistro (Skinner, 2011; Zhang *et al.*, 2018). Os retardantes de chama halogenados apresentam excelente desempenho contra propagação da chama, e podem ser desenvolvidos em inúmeras formulações que se adaptam a quase todos os materiais poliméricos (Nunes, 2010). Embora os retardantes de chamas halogenados sejam eficientes, os riscos ambientais e à saúde humana, causados pela liberação de gases tóxicos durante a decomposição destes aditivos quando submetidos à chama, tem gerado preocupações e um aumento cada vez maior da vigilância dos governos e agências ambientais em relação a sua utilização (Skinner, 2011; Zhang *et al.*, 2018).

A pressão dos apelos ecológicos e de segurança, principalmente nos Estados Unidos e Europa, propiciaram o desenvolvimento de diversas alternativas de retardantes de chama não halogenados, como os derivados de fósforo, amônio, melamina, entre outros, os quais em sua decomposição térmica geram menos fumaça e não produzem gases tóxicos (European Union, 2006). Porém, os não retardantes de chama não halogenados encontram muitas vezes algumas dificuldades de aplicação dependendo do tipo de polímero onde serão adicionados e/ou do grau requerido de retardância à chama. Em contrapartida, o uso elevado de materiais poliméricos em diversos setores da economia acarreta no aumento da quantidade de resíduos que diariamente devem ser encaminhados para reciclagem ou disposição em aterro controlado. Assim, as técnicas de reciclagem vêm sendo cada vez mais aprimoradas (Ashori, 2010; Almaadeed *et al.*, 2014; Blanco *et al.*, 2017). As aparas de filmes multicamadas ainda constituem um desafio para a reciclagem devido a diversidade de materiais que compõem essas embalagens, o

que normalmente limita a reciclagem desse resíduo ao desenvolvimento de produtos de menor valor agregado, tais como, lonas para caminhão e sacos de lixo.

Desta forma, este trabalho visa avaliar o efeito da adição de retardantes de chama não halogenados na flamabilidade e nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas de resíduos de polietileno provenientes do processo de fabricação de embalagens multicamada. Este trabalho também tem como objetivo avaliar as propriedades do material obtido a partir das aparas de filmes multicamadas com vistas a sua reciclagem e potencial reinserção em novos ciclos produtivos.

Materiais e Métodos

Os materiais utilizados nesse trabalho foram rPE, TiO_2 e o AC fosforado. O rPE é constituído de aparas do processo de fabricação de embalagens multicamada sendo composto por uma mistura de polietileno de baixa densidade (PEBD), tinta, adesivo, catalisador, solvente e pigmento branco. O resíduo foi doado por uma empresa da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul /Brasil. O dióxido de titânio foi produzido pela empresa DuPont, sob o nome Ti-Pure® R-902. O óxido possui pureza de 91 %, tamanho médio de partícula de 0,42 μm e densidade de 4,23 g/cm³. O antichama comercial (AC) fosforado foi cedido por outra da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul/Brasil. O material apresenta índice de fluidez de 50g/10min.

Preparação das amostras

As formulações foram desenvolvidas com 30% em massa de retardante de chama, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Codificação e formulação das amostras avaliadas

Amostra	Teor em massa de resíduo de PEBD (%)	Teor em massa de AC (%)	Teor em massa de TiO_2 (%)
rPE	100	---	---
rPE/AC	70	30	---
rPE/TiO_2	70	---	30
rPE/ACTiO_2	70	15	15

Fonte: Autores (2024).

Antes de realizar a mistura, os materiais foram secos em estufa a 80ºC por 4 horas. O processo de mistura foi realizado em um reômetro tipo Haake a uma temperatura de 180°C e velocidade de 60 rpm. O tempo total de mistura foi de 4 min. Após o processo de mistura, foram moldadas placas com espessura de 3,2 mm, em uma prensa hidráulica aquecida a 180ºC, pressão de 5 ton por aproximadamente 5 minutos, com degasagem.

Caracterização das amostras

A densidade das amostras foi determinada utilizando corpos de prova com dimensões de aproximadamente 2 cm x 2 cm obtidos a partir da placa anteriormente moldada por compressão. A determinação da densidade foi realizada em triplicata baseada na norma ASTM D792-13.

O ensaio de flexão foi realizado de acordo com a ASTM D790 em uma máquina universal de ensaios EMIC DL 2000 com célula de carga de 200 kgf e velocidade de ensaio de 1,3 mm/min em 7 corpos de prova. A resistência ao impacto das amostras foi determinada de acordo com a ASTM D256 em um equipamento CEAST Resil em 10 corpos de prova com entalhe utilizando o martelo de 2,75J.

A análise termogravimétrica foi realizada em um equipamento TGA 50 da Shimadzu com taxa de aquecimento de 10°C/min em atmosfera de N_2 com fluxo de 50 mL/min de 23°C a 600°C. Foram utilizados aproximadamente 10 mg de amostra.

A flamabilidade das amostras foi avaliada conforme a norma UL94 da Underwriters Laboratories (2014), em triplicata. Os corpos de prova foram preparados com 125 ± 5 mm de comprimento, 13 ± 0,5 mm de largura e 3,2 ± 0,1 mm de espessura. A amostras foram colocadas na posição vertical com auxílio de um suporte universal e uma garra e submetidos à chama controlada, em duas exposições de 10 segundos cada. Foram registrados os tempos de duração da chama no corpo de prova após a primeira aplicação (t_1), e após a segunda aplicação (t_2). Em relação a queima do corpo de prova foi avaliado se está estendeu-se até a garra e se houve gotejamento ou fagulhas que queimassem o algodão colocado na base do suporte universal.

Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados de densidade para cada um dos materiais avaliados. A densidade do rPE é levemente superior a

densidade o PEBD virgem, que é 0,92 g/cm^3. Esse aumento pode estar a associado a utilização de pigmento e demais aditivos adicionados ao PEBD e que podem aumentar sua densidade.

Tabela 2 – Densidade do resíduo e das amostras com adição de retardantes de chama

Amostra	Densidade (g/cm^3)
rPE	0,94 ± 0,01
rPE/AC	1,04 ± 0,01
rPE/TiO_2	1,14 ± 0,01
rPE/ACTiO_2	1,12 ± 0,01

Fonte: Autores (2024).

Para as amostras com adição de AC e TiO_2 o aumento na densidade foi de aproximadamente 10% e 20%, respectivamente. Considerando uma possível utilização destes materiais como placas divisórias na construção civil é pertinente a realização de uma comparação com materiais amplamente utilizados por este setor. Em média a densidade da madeira encontrada na Mata Atlântica brasileira varia entre 0,6 e 0,8 g/cm^3. Sendo que a madeira mais densa encontrada nesta mata é atribuída ao Psidium cattleianum que atinge o valor de 1,12 g/cm^3 (Padilha & Júnior, 2018). Outro material bastante utilizado na construção civil é o gesso, que, de acordo com Material Property Data (2019), possui densidade de aproximadamente 1,25 g/cm^3. Levando em consideração que a densidade dos materiais deste estudo tem uma faixa entre 1,04-1,14 g/cm^3 pode-se concluir que esses valores são próximos da densidade da madeira, mas inferiores aqueles observados para o gesso. Assim, essas placas podem constituir uma alternativa mais leve e de fácil utilização, quando comparadas ao gesso.

Os resultados dos ensaios de flexão e impacto são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas do rPE e das amostras com adição de retardante de chama

Amostra	Deformação sob flexão	Resistência a flexão	Módulo de flexão	Resistência ao impacto
	(%)	(MPa)	(MPa)	(J/m)
rPE	9,00 ± 0,32	10,56 ± 0,45	274 ± 25	571 ± 115
rPE/AC	8,43 ± 0,55	10,75 ± 0,48	302 ± 20	509 ± 77,5

rPE/TiO_2	9,89 ± 0,62	9,49 ± 1,30	256 ± 45	454 ± 49,9
rPE/ACTiO_2	9,02 ± 0,32	9,37 ± 0,43	300 ± 34	532 ± 83,5

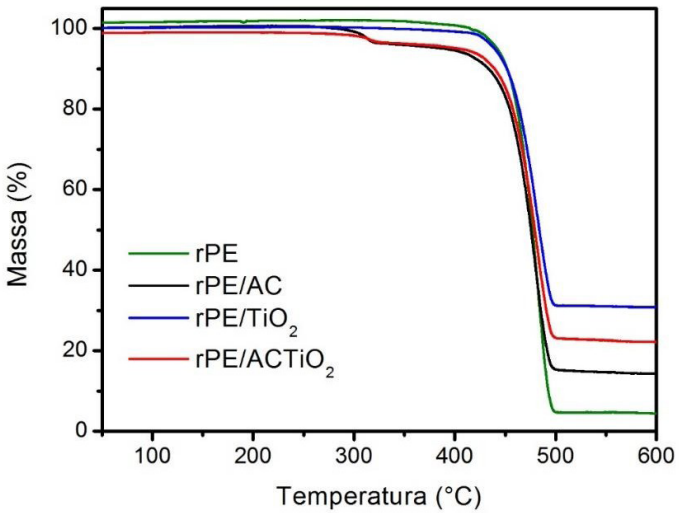
Fonte: Autores (2024).

De maneira geral, a adição dos retardantes de chama ocasionou redução do alongamento e também da resistência a flexão. A fraca interação entre os materiais inorgânicos com a matriz de polietileno pode ser responsável pela baixa transferência de esforços da matriz para a carga (Cui *et al.*, 2008). O módulo de flexão, de forma geral, aumentou com a adição dos retardantes possivelmente devido ao fato das cargas inorgânicas possuírem maior módulo em comparação a matriz de polietileno (Bengtsson *et al.*, 2007).

A resistência ao impacto das amostras com antichama foi reduzida em comparação ao rPE. As cargas podem estar atuando como concentradores de tensão (Nygard et al, 2008) sem causar a distribuição da energia paras a matriz no momento do impacto o que causa a fragilização do material.

As curvas termogravimétricas obtidas para cada uma das amostras são apresentadas na Figura 1. A adição de TiO_2 não alterou de forma significativa a estabilidade térmica do rPE. Por outro lado, o uso do AC ocasionou redução da estabilidade térmica do material.

Figura 1 – Curvas termogravimétricas para as amostras estudadas.



Fonte: Autores (2024).

Na Tabela 4 encontram-se os dados obtidos por meio da análise das curvas termogravimétricas, sendo apresentada a temperatura onde ocorre 3% de perda de massa (Ti), as temperaturas de máxima degradação ($Tpico_1$ e $Tpico_2$) e por fim o teor de cinzas a 600ºC. O rPE possui temperatura de 3% de perda de massa igual à 435ºC e apresenta apenas um evento de perda de massa, que ocorre na temperatura de 483ºC. A degradação do rPE ocorre basicamente pela cisão das cadeias do polímero em temperaturas próximas a 480°C.

Tabela 4 – Dados obtidos a partir de análises térmicas: temperatura de 3 % de perda de massa (Ti); temperaturas de pico 1 e 2 e teor de cinzas a 600 °C.

Amostra	**T_i (°C)**	**$Tpico_1$ (°C)**	**$Tpico_2$ (°C)**	**Resíduo a 600°C (%)**
rPE	435	---	483	4,4
rPE/AC	316	313	477	14,3
rPE/TiO_2	431	---	484	30,8
rPE/ACTiO_2	318	315	483	22,2

Fonte: Autores (2024).

Nas amostras contendo AC foi possível observar dois eventos de perda de massa. O primeiro evento tem uma temperatura de pico de 316ºC e um segundo evento em 477ºC. O primeiro evento está possivelmente associado com a degradação do fósforo presente no antichama, enquanto o segundo evento refere-se a degradação das cadeias do polietileno. A redução na segunda temperatura de pico dessa amostra em comparação ao rPE pode estar associada a degradação do fósforo que pode acelerar a degradação do polietileno, umas vez que a degradação de componentes de menor massa molar pode reduzir a estabilidade térmica do material acelerando a cinética de degradação (Araújo et al, 2008).

A amostra rPE/TiO_2 apresentou uma temperatura de 3% de perda de massa em 431ºC, que é bem similar ao do rPE. Este material apresentou apenas um evento de perda de massa. Esse evento ocorreu na temperatura de 484ºC, que também é bem próxima do maior evento de perda de massa do rPE. Este resultado indica que o TiO_2 não provocou alteração na cinética de degradação do rPE. O maior teor de cinzas para essa amostra está associado ao fato do TiO_2 ser um óxido metálico que não apresenta degradação na faixa de temperatura avaliada. O comportamento da amostra contento AC e TiO_2 foi similar ao da rPE/

AC, tanto para a Ti quanto para a temperatura associada ao primeiro pico de degradação. No entanto, a presença do TiO_2 pode ter feito com que a temperatura do segundo pico de degradação fosse semelhante a do rPE. A carga inorgânica pode estar causando um efeito de barreira e retardando a degradação do polietileno. O resultado do teste de flamabilidade realizado de acordo com a UL-94 está apresentado na Tabela 5. O teste mostrou que nenhum dos materiais avaliados pode ser classificado conforme a norma UL-94, ou seja, nenhuma amostra testada apresentou característica de retardamento da chama.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de flamabilidade das amostras, constando os dados do somatório dos tempos de ignição (t_1) e tempo de queima (t_2), e a classificação dos polímeros conforme norma UL94.

Amostra	**t_1 (s)**	**t_2 (s)**	**$\Sigma\ t_1 + t_2$ (s)**	**Classificação***
rPE	0,22	140		
	0,19	136	480	NC
	165	-		
rPE/AC	0,23	132		
	150	-	455	NC
	150	-		
rPE/TiO_2	110	-		
	110	-	330	NC
	110	-		
rPE/ACTiO_2	135	-		
	115	-	370	NC
	120			

* NC = Não pode ser classificado segundo os parâmetros da UL-94.
Fonte: Autores (2024).

O rPE apresentou certo poder de autoextinção da chama, já que duas amostras conseguirem extinguir a chama após aproximadamente 20s de queima. Contudo, após novo processo de ignição a amostra incendiou completamente com gotejamento e consequentemente queima do algodão. A adição de AC não causou o efeito de retardante de chama esperado, provavelmente devido a não formação de uma camada protetora sobre a superfície do material.

A utilização de TiO_2 também não mostrou bons resultados como um material antichama, fazendo com que a amostra fosse incendiada

completamente, também com gotejamento e queima do algodão. Durante o teste foi possível observar a formação de uma camada de fuligem sobre o corpo de prova quando em contato com o fogo, o que pode indicar o começo da formação de uma camada de char, que pode atuar como barreira ao oxigênio, e colaborar para a proteção do material contra a ação do fogo. Apesar da formação da fuligem a mesma não formou-se em quantidade suficiente para que ocorresse a extinção das chamas. A mistura de TiO_2 e AC também não se mostrou eficiente para promover a autoextinção da chama. Mas foi possível verificar a formação de fuligem sobre os corpos de prova, corroborando que foi verificado para a amostra rPE/TiO_2.

Conclusão

Os resultados mostraram que a densidade das amostras aumentou 10% a 20% quando comparadas a amostra rPE. No entanto, a densidade do material obtido é inferior a outros materiais utilizados na construção civil como placas divisórias, tais como madeira e gesso. As propriedades mecânicas avaliadas sugerem que a adição das cargas causa redução da resistência a flexão e impacto, mas aumento do módulo de flexão, possivelmente devido a fraca interação entre a carga e a matriz. A análise termogravimétrica mostrou que o antichama comercial atuou reduzindo a estabilidade térmica do material, quando comparado ao rPE. O uso de TiO_2 não alterou a estabilidade térmica do material e quando esse foi utilizado juntamente com o antichama comercial o óxido atuou retardando a cinética de degradação do material.

Nos ensaios de flamabilidade constatou-se que nenhum dos materiais testados atuou de forma a autoextinguir a chama. Desta forma, todas as amostras testadas não foram classificadas de acordo com a UL-94. Um resultado promissor foi a visualização de uma camada de fuligem na superfície dos corpos de prova quando ocorreu a queima da amostra rPE/TiO_2. Este resultado pode indicar que o TiO_2 quando combinado a um antichama pode atuar como um supressor do fornecimento de oxigênio para o processo de combustão, o que pode tornar o material classificado como autoextinguível, se ocorrer a formação de uma camada de char sobre a superfície do corpo de prova sujeito a ação das chamas. De maneira geral, os materiais testados mostraram potencial para aplicação como placas divisórias, por serem leves e resistentes, mas a busca por um composto antichama não halogenado que

realmente atue como retardante de chamas ainda necessita ser melhor estudada.

Referências

ALMAADEED, M.A.; NÓGELLOVÁ, Z.; JANIGOVÁ, I.; KRUPA, I. “Improved mechanical properties of recycled linear low-density polyethylene composites filled with date palm wood powder”. **Materials and Design**, v. 58, 2014, pg. 209-216.

ARAÚJO, J.R. WALDMAN, W.R.; DE PAOLI, M.A. “Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect”. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, 2008, pg 1770-1775.

ASHORI, A.; NOURBAKHSH, A. “Bio-based composites from waste agricultural residues”. **Waste Management**, v. 30, 2010, pg. 680-684.

BENGTSSON, M.; LE BAILLIF, M.; OKSMAN, K. “Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites”. Composites Part A v. 38, 2007; pg.1922-1931.

BLANCO, I.; CICALA, G.; LATTERI, A.; SACULLO, G.; EL-SABBAGH, A.M.M.; CRISTALE, J. *et al.* “Occurrence of flame retardants in landfills: A case study in Brazil”. **Environmental Research**, v. 168, 2019, pg. 420-427.

CUI, Y.; LEE, S.; NORUZIAAN, B. *et al.* “Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials”. Composites Part A v. 39, 2008, pg. 655-661.

EUROPEAN UNION. Lei nº 1907/2016, de 18 de dezembro de 2006. Registration, Evaluation, **Authorization and Restriction of Chemicals (REACH)**. European Union, 18 dez. 2006. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20140410. Acesso em: 05 abr. 2019.

MARTINS, P. A. “Uso de aditivos não tóxicos como retardantes de chama em ABS. 2013”. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalurgica e de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MATERIAL PROPERTY DATA. Plaster; Molded, Dry. Disponível em: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0e684bc25a1642d0a90aabe41f59b917. Acesso em: 17 set. 2019.

NUNES, S. A. “Influência do uso de retardantes de chama halogenados e não halogenados em poliolefinas”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

NYGARD, P. ; TANEM, B.S. ; KARLSEN, T. *et al.* “Extrusion-based wood fibre-PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres – a comparative study”. **Composite Science and Technology**, v. 68, 2008, pg. 3418-3424.

PADILHA, D. L.; JÚNIOR, P. de M. “Forest Ecology and Management A gap in the woods : Wood density knowledge as impediment to develop sustainable use in Atlantic Forest”. **Forest Ecology and Management**, v. 424, 2018, pg. 448–457.

SKINNER, L. C. “Distributions of polyhalogenated compounds in Hudson River (New York, USA) fish in relation to human uses along the river”. **Environmental Pollution**, v. 159, 2011, pg. 2565–2574.

ZHANG, Y. *et al.* “Biomagnification of Hexabromocyclododecane (HBCD) in a coastal ecosystem near a large producer in China: Human exposure implication through food web transfer”. **Science of the Total Environment**, v. 624, 2018, pg. 1213–1220.

ZIEGMANN, G. “Thermal characterization of a series of lignin-based polypropylene blends”. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 127, 2017, pg. 147-153.

Avaliação das propriedades morfológicas, químicas e térmicas de lignosulfonato modificado com fósforo para uso como aditivo retardante de chama de fonte renovável

Fernanda Caroline Cagol[1], Matheus Poletto[2]
[1] Engenharia Química, Universidade de Caxias do Sul (fccagol@ucs.br)
[2]Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC), Universidade de Caxias do Sul (mpolett1@ucs.br)

Resumo: Lignosulfonatos são compostos derivados da lignina. Quando modificados quimicamente, podem substituir os retardantes de chama halogenados, a fim de reduzir a liberação de componentes tóxicos ao meio ambiente. Este trabalho avaliou a modificação química com fósforo de lignosulfontato de sódio (LGNa), dissolvido em tetrahidrofurano, com adição de pentóxido de fósforo (P_2O_5) mantendo a relação molar 1:1. O LGNa e o lignosulfonato modificado com fósforo (LGP) foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG), espectroscopia de dispersão em energia (EDS), espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA). As micrografias revelaram que as partículas de lignosulfonato são esféricas, já o EDS mostra que o fósforo está presente na superfície do lignosulfonato. O FTIR mostrou o surgimento de uma banda próximo a 1000 cm^{-1} para o LGP em comparação ao LGNa, o que sugere à presença de fósforo ligado a estrutura do lignosulfonato. LGP também apresenta perda de massa relativa ao fósforo. A modificação química do lignosulfonato com fósforo é promissora na busca um retardante de chama de fonte renovável e que não utilize compostos halogenados, em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) número 12, bem como o ODS 9.

Palavras-chave: Modificação química, Retardante de chama, Flamabilidade.

Evaluation of morphological, chemical and thermal properties of lignosulfonate modified with phosphorus for use as a flame retardant additive from renewable source

Abstract: Lignosulfonates are compounds derived from lignin. These, when chemically modified, can replace halogenated flame retardants, in order to reduce the release of toxic components into the environment. This work evaluated chemical modification with phosphorus of sodium lignosulfontate

(LGNa), dissolved in tetrahydrofuran, with the addition of phosphorus pentoxide (P2O5) maintaining the molar ratio 1:1. LGNa and phosphorus-modified lignosulfonate (LGP) were characterized by field emission scanning electron microscopy (FEG-SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA). Micrographs revealed that the lignosulfonate particles are spherical, while EDS shows that phosphorus is present on lignosulfonate surface. FTIR analysis showed a band at 1000 cm-1 for LGP compared to LGNa, which suggests that phosphorus bound to lignosulfonate structure. LGP also shows a mass loss relative to phosphorus. The chemical modification of lignosulfonate with phosphorus is promising in the search for a flame retardant from a renewable source that does not use halogenated compounds, in line with sustainable development goals (SDG) number 12, as well as SDG 9.

Key words: Chemical modification, Flame retardant, Flammability.

Introdução

O desenvolvimento de novas tecnologias possibilitou uma ampliação na faixa de aplicação dos materiais poliméricos. Com a síntese de novos polímeros e com a modificação dos já existentes tornou-se possível a aplicação destes materiais onde, sem as devidas modificações, haveriam reduzidas chances de sucesso. Materiais partindo de um mesmo polímero-base podem apresentar características totalmente distintas com diferentes propriedades térmicas e mecânicas apenas com a inserção de aditivos em sua matriz polimérica (Millican, Agarwal, 2021). A aplicação desses materiais está em crescente expansão em diversas áreas, como construção civil, aeroespacial, automobilística e naval, com isso a preocupação com a flamabilidade destes compostos tornaram-se foco de estudos, visto que, são compostos de cadeias carbônicas, sendo considerados altamente inflamáveis. A degradação térmica dos polímeros muitas vezes é acompanhada por liberação de fumaça e gases tóxicos ou corrosivos, impossibilitando seu uso em determinadas aplicações. Para isso, a indústria tem desenvolvido formulações com adição de retardantes de chama aumentando a resistência à ignição e diminuindo velocidade de propagação da chama (Millican, Agarwal, 2021; Zhang *et al.*, 2020).

Os retardantes de chama convencionais, em sua maioria, são baseados em fósforo, nitrogênio, óxidos metálicos, silício e halogênios. Os componentes halogenados apesar de serem excelentes retardantes de chama, quando inflamados apresentam efeitos tóxicos e são considerados um risco para a população e para o meio ambiente tornando seu uso restringido e em alguns casos proibido (Pieroni *et al.*, 2017). A

crescente aplicabilidade dos materiais poliméricos aliada a ocorrência de grandes tragédias envolvendo incêndios em locais públicos e domésticos deram foco há necessidade de substituição dos retardantes de chama tradicionais por novos retardantes não-tóxicos ambientalmente corretos e livres de halogênios. Os requisitos básicos para ser um retardante de chama são apresentar estabilidade térmica e a formação de resíduo carbonizado sobre a superfície do material. Um material de partida para a síntese de novos compostos retardantes de chama são os materiais que contém grupos fenólicos em sua estrutura. Eles possuem as características necessárias para atuarem como retardante de chama (Ravichandran *et al.*, 2010).

Prieur e colaboradores (2016) incorporaram a lignina em acrilonitrila butadieno-estireno (ABS). Os autores verificaram um poder retardante de chama. A fim da obtenção de um maior desempenho a lignina foi então fosforilada. Os testes revelaram que ocorreu um aumento na produção de resíduos após a queima estes servem como uma camada protetora e assim retardam a queima do polímero (Prieur *et al.*, 2016). Liu *et al*. (2016) produziram um retardante de chama de formulação biológica baseado em lignina que foi modificada quimicamente com a inserção de P, N e Cu. Os resultados demonstram que a lignina modificada é mais eficiente do que a lignina Ela melhora a estabilidade térmica e aumenta a capacidade retardante de chama do PP, isso se deve à presença dos elementos P e N, que são retardadores de chama, e ao efeito catalítico do Cu^{2+} sobre a formação do char. Além disso, a lignina modificada também pode reduzir a taxa de liberação de calor, a liberação total de calor e a taxa total de produção de fumaça durante a combustão (Liu *et al.*, 2016).

O lignosulfonato é um polifenol com estrutura molecular ramificada. É obtido como um subproduto do processo de polpação sulfito da madeira para obtenção da celulose (Schneider *et al.*, 2021). Portanto, este trabalho tem como objetivo promover a modificação química do lignosulfonato com fósforo na busca de um aditivo retardante de chama de fonte renovável, buscando a integração com o ODS 12 e o ODS 9.

Materiais e Métodos

Materiais

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizado LGNa cedido pela empresa Borregaard LignoTech Brasil, sob o nome comercial de Ultrazine NA, na forma de pó com granulometria média de 5 μm. O pentóxido de difósforo (P_2O_5) PA e o tetrahidrofurano (THF) PA foram fornecidos pela empresa Dinâmica.

Metodologia de modificação química e caracterização das amostras

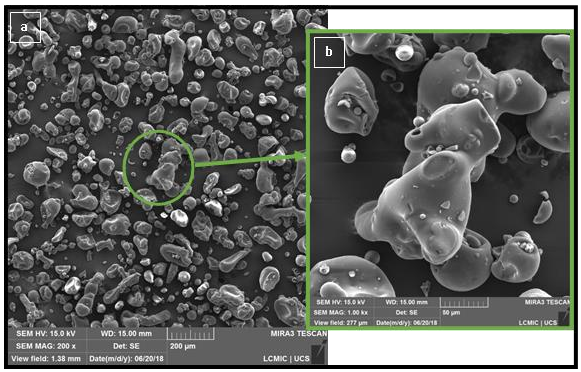
O processo de modificação química do lignosulfonato iniciou com a dissolução de 53,5 g de LGNa em 300 mL de tretrahidrofurano em um becker, seguido de agitação manual. Logo após, 14,25 g de P_2O_5 foram adicionados a suspensão, mantendo-se uma relação 1:1 em base molar entre o LGNa e o P_2O_5. A suspensão foi transferida para um balão de 500 mL. O balão foi acoplado a um condensador de refluxo e a reação ocorreu por um período de 8h, conforme metodologia adaptada de Prieur *et al.* (2016). Após o período de 8h a suspensão foi filtrada por filtração a vácuo. A amostra obtida foi seca em estufa a 80°C por 3h para remoção do excesso de THF.

A morfologia do lignosulfonato antes e após a modificação química foi avaliada em microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo (MEV/FEG) TESCAN Mira 3, equipado com sensor de espectroscopia de energia dispersiva (EDS). As amostras de lignosulfonato foram previamente recobertas com ouro e utilizou-se a tensão de aceleração de 10 kV. Os espectros de FTIR foram registrados com a utilização de amostras em pó em um espectrofotômetro Nicolet IS10 – Termo Scientific no intervalo de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1}. O resultado foi obtido através da média de 32 varreduras, com uma resolução de 4 cm^{-1} pelo método de refletância total atenuada (ATR). As análises termogravimétricas foram realizadas em um equipamento Shimadzu TGA50. Para a realização da análise foram utilizadas amostras com massa de aproximadamente 10 mg. As análises foram realizadas em amostras previamente secas em estufa a 80°C por 4h, na faixa de temperatura de 23°C a 800 °C, com uma razão de aquecimento de 10 $°C.min^{-1}$, em atmosfera de nitrogênio a um fluxo de 50 $mL.min^{-1}$.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 são mostradas as micrografias do LGNa. Observa-se que o LGNa apresenta uma configuração particulada. Em sua grande maioria, é composto por partículas de formato esférico, havendo uma variação entre a granulometria destas partículas. Ainda pode-se observar algumas partículas na forma de bastões.

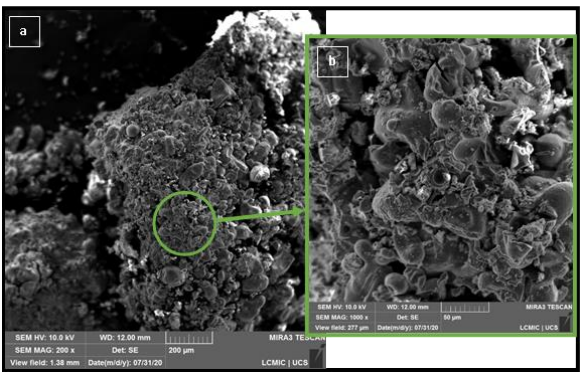
Figura 1 – Micrografias do LGNa mostrando as partículas com 200x (a) de aumento e o detalhe de algumas partículas com 1000x (b) de aumento.



Fonte: Autores (2024).

Para o LGP observa-se a formação de aglomerados de partículas com superfície porosa, que se devem provavelmente a adição do fósforo na estrutura do lignosulfonato. Segundo Prieur e colaboradores (2016) estas frações de fósforo são inseridas no lignosulfonato por meio de ligações com grupos hidroxilas presentes na superfície do lignosulfonato.

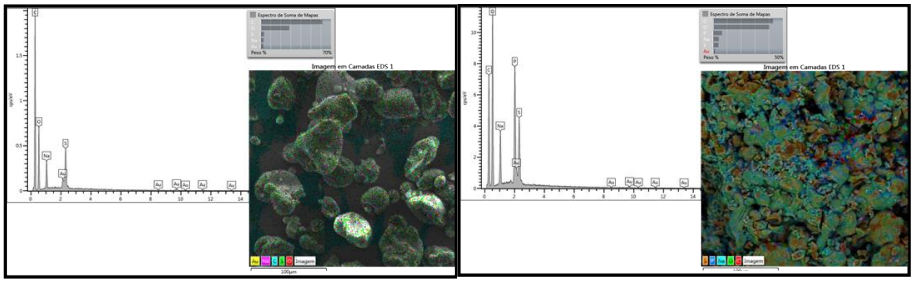
Figura 2 – Micrografias do LGP mostrando as partículas com 200x (a) de aumento e o detalhe de algumas partículas com 1000x (b) de aumento.



Fonte: Autores (2024).

A análise de EDS para as amostras de LGNa e LGP é mostrada na Figura 3. Pode-se observar que antes da modificação química, o LGNa apresenta cerca de 4 % de sódio (Na) e a presença de fósforo não foi detectada. Após a modificação química, o LGP apresentou aproximadamente 6 % de fósforo (P) e 4 % de sódio (Na). Por meio destes dados pode-se verificar que a inserção de fósforo na estrutura do lignosulfonato de fato ocorreu.

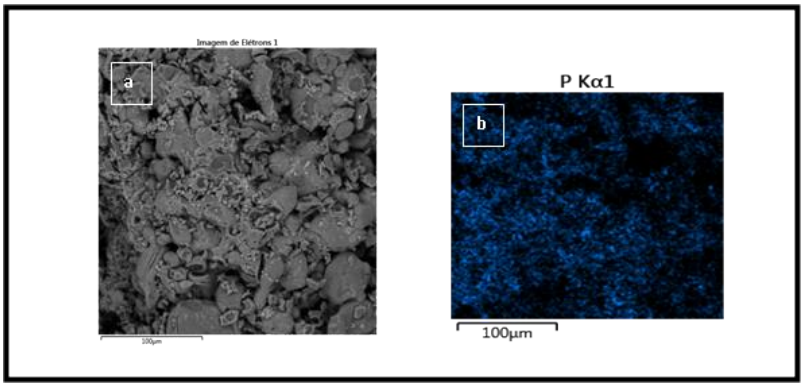
Figura 3 – Análise de EDS para o LGNa (a) e para o LGP (b).



Fonte: Autores (2024).

A Figura 4 apresenta o mapeamento do fósforo na superfície da amostra LGP, realizado na análise de EDS. Neste mapeamento cada cor representa um elemento químico e o fósforo está destacado na cor azul, como mostrado em destaque na Figura 4(b). O fósforo está disperso na estrutura do lignosulfonato de maneira uniforme.

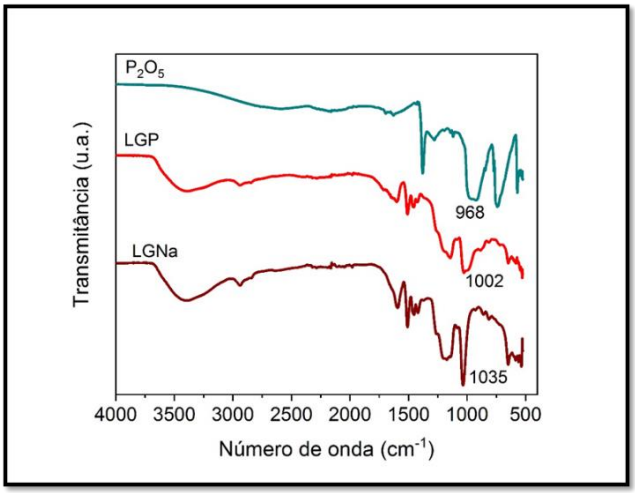
Figura 4 – Microscopia (a) e mapeamento via EDS para o fósforo presente no LGP.



Fonte: Autores (2024).

A Figura 5 apresenta o espectro de FTIR do LGNa e do LGP, além do espectro do P_2O_5, que foi adicionado para melhor identificar as bandas associadas ao fósforo.

Figura 5 – Espectro de FTIR do LGNa, LGP e do P_2O_5.



Fonte: Autores (2024).

O espectro do LGNa exibe bandas em 1592, 1508 e 1425 cm^{-1}, que são correspondentes a vibrações do fenilpropano, um dos compostos oriundos da estrutura do lignosulfonato (Monteil-Rivera *et al.*, 2013). A banda larga presente em 3400 cm^{-1} é atribuída a presença dos grupos OH. As bandas detectadas em 2939, 2843 e 1453 cm^{-1} estão relacionadas as ligações C-H dos grupos CH_2 e CH_3 (Prieur *et al.*, 2016).

Após a modificação a intensidade da banda de OH em 3400 cm^{-1} foi reduzida para o LGP. Uma banda adicional surgiu em 1002 cm^{-1} e foi atribuída a ligação P-OR, onde R representa a estrutura do lignosulfonato, indicando a presença de fósforo na amostra, após a modificação química (Prieur *et al.*, 2016). A Tabela 1 apresenta as principais bandas presentes no espectro de infravermelho dos lignosulfonatos e as suas respectivas atribuições.

Tabela 1 – Atribuição das bandas de FTIR para os lignosulfonatos estudados

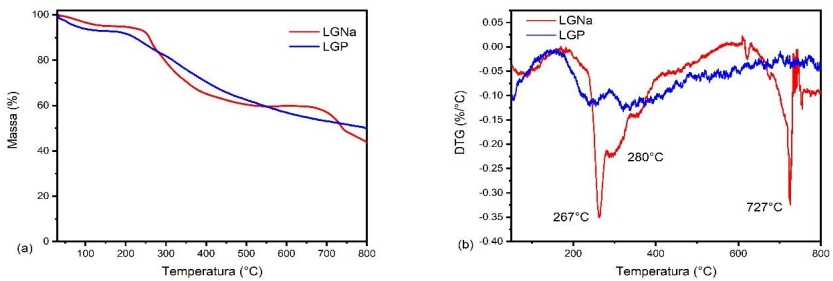
Número de onda (cm^{-1})	**Atribuição**	**Composto**
3420 – 3400	Estiramento O–H	LGNa/LGP
2960–2925	Estiramento C–H	LGNa/LGP

2840 – 2923	Estiramento C–H	LGNa/LGP
1595 – 1590	Vibrações anel aromático influenciada por estiramento C=O	LGNa/LGP
1500 – 1511	Vibrações de anel aromático	LGNa/LGP
1457 – 1465	Deformações C–H	LGNa/LGP
1427 – 1425	Vibrações de anel aromático	LGNa/LGP
1002	Vibração de grupos P–OR	LGP

Fonte: Adaptado de Monteil-Rivera *et al.*, (2013); Tejado *et al.*, (2007).

As curvas termogravimétricas e também da primeira derivada da perda de massa (DTG) para o LGNa e para o LGP estão apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Curvas TGA (a) e DTG (b) para o LGNa e LGP.



Fonte: Autores (2024).

A complexidade da estrutura do lignosulfonato, de fato promove muitas etapas de decomposição. Pode-se observar pelas curvas de TGA apresentadas na Figura 6 que o LGNa apresenta quatro etapas dominantes de perda de massa. A primeira etapa está associada à perda de umidade absorvida, que ocorre em aproximadamente 100°C e acarreta em uma redução de aproximadamente 2 % em massa. A segunda etapa é a etapa dominante, que corresponde a cerca de 27 % de perda de massa, neste evento ocorre um amplo pico de perda de massa em torno de 267°C, seguido de outro menos intenso em 280°C, onde acontece a decomposição da maioria dos grupos que contém oxigênio, liberando CO_2 e possivelmente CO, causando um rearranjo dos carbonos, incluindo compostos aromáticos e alquilas (Pang *et al.*, 2018). A terceira e quarta etapa são responsáveis por 20 % e 8 % de perda de massa, respectivamente. A terceira etapa ocorreu aproximadamente em 727°C e a quarta etapa em torno de 780°C. Esses dois picos podem ser atribuídos

principalmente às reações entre o carbono e sais inorgânicos contendo sódio (Zhang *et al.*, 2015). Portanto, o lignosulfonato, em analogia a outros estudos envolvendo a lignina, pode ser considerado um material carbonizado sob condições pirolíticas. A formação do carvão ocorre por três motivos. Primeiramente pela desidratação da estrutura, levando à formação de ésteres, devido a rearranjos e também pela formação de estruturas aromáticas condensadas (Duquesne *et al.*, 2009; Prieur *et al.*, 2016).

Após a modificação do lignosulfonato com fósforo é possível observar um evento de perda de massa próximo de 100°C, este é atribuído a presença de umidade na amostra, conforme discutido anteriormente. Em aproximadamente 200°C a amostra inicia um processo de decomposição térmica baseado na degradação dos compostos oxigenados presentes, bem como dos grupamentos aromáticos que compõem o lignosulfonato. Nota-se que a temperatura de decomposição do LGP é mais baixa do que a temperatura de decomposição do LGNa. Esta informação é crucial para a escolha da temperatura correta de processamento, como também para a definição de quais polímeros o LGP pode ser incorporado. Ainda, nota-se que há uma diminuição na taxa máxima de perda de massa, levando a uma estabilização. É possível que o fósforo atue como um catalisador reduzindo a temperatura de início da decomposição térmica (Dupretz *et al.*, 2014). Também há um aumento da quantidade de resíduos em comparação ao LGNa (Pang *et al.*, 2018). A adição de fósforo a estrutura do lignosulfonato melhora a estabilidade térmica do LGP em temperaturas mais elevadas. Nota-se que acima de 400°C não há mais ocorrência de eventos de perda de massa expressivos. Segundo, Gao e colaboradores (2020), em temperaturas elevadas os grupos de fósforo encontram-se firmemente ligados à superfície da lignina. Esses grupos permaneceram termicamente estáveis e resultam em uma alta resistência à oxidação. Além disso, a estabilização observada também demonstra que a presença de fósforo aumenta a formação de carvão, devido às interações da fase condensada (Prieur *et al.*, 2016).

Conclusão

Neste estudo um lignosulfonato comercial foi modificado com fósforo e posteriormente realizou-se a sua caracterização. Com base nos resultados obtidos, verificou-se a presença de fósforo no lignosulfonato. Ainda, foi possível observar que a capacidade de formação de compostos

carbonizados do lignosulfonato foi aumentada após a adição de fósforo. Por meio das micrografias foi possível observar uma mudança na morfologia das amostras após a incorporação de fósforo. A configuração anteriormente particulada com superfície relativamente lisa no LGNa, passou a apresentar diferente morfologia em LGP, com formação de aglomerados de partículas com superfície porosa. Essa mudança provavelmente se deve a adição do fósforo à estrutura do lignosulfonato. Na análise de EDS foi possível observar a presença do elemento fósforo para o LGP, bem como sua presença também foi constatada através da análise de FTIR. Os resultados obtidos indicam que a metodologia utilizada para a modificação química do LGNa proporcionou a adição de fósforo ao lignosulfonato. Contudo, nas próximas etapas deste estudo, resta saber se o lignosulfonato modificado atuará como um retardante de chama quando disperso em uma matriz polimérica, contribuindo assim, para a utilização de retardantes de chama que sejam oriundos de fontes renováveis e não sejam nocivos à saúde humana.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), processo 24/2551-0001244-3, pelo apoio financeiro.

Referências

DUPRETZ, R.; FONTAINE, G.; BOURBIGOT, S. Fire retardancy of a new polypropylene-grafted starch: Part II: investigation of mechanisms. **Journal of Fire Sciences**. v. 32, n. 3, pg. 210– 229, 2014.

DUQUESNE, S.; BOURBIGOT, S. Char Formation and Characterization. **Fire Retardancy of Polymeric Materials**. n. 2, pg. 239-259, 2009.

GAO, C.; ZHOU, L.; YAO, S.; QIN, C.; FATEHI, P. Phosphorylated kraft lignin with improved thermal stability. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 162, pg. 1642-1652, 2020.

LIU, L. *et al.* Fabrication of Green Lignin-based Flame Retardants for Enhancing the Thermal and Fire Retardancy Properties of Polypropylene/Wood Composites. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**. v. 4, n. 4, pg. 2422-2431, 2016.

MILLICAN, J.M., AGARWAL, S. **Plastic Pollution:** A Material Problem? Macromolecules. v. 54, n 10, pg. 4455–4469, 2021.

MONTEIL-RIVERA, F. *et al.* Isolation and caracterization of herbaceous lignins for applications in biomaterials. **Industrial Crops and Products**. v. 41, pg. 356-364, 2013.

PANG, J.; ZHANG, W.; ZHANG, H.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; CAO, G.; HAN, M.; YANG, Y. Sustainable nitrogen-containing hierarchical porous carbon spheres derived from sodium lignosulfonate for high performance supercapacitors. **Carbon**. v. 132, pg. 280-293, 2018.

PIERONI, M. C. *et al.* Retardantes de chama bromados: uma revisão. **Química Nova**. v. 40, n. 3, pg. 317-326, 2017.

PRIEUR, B. *et al.* Phosphorylation of lignin to flame retard acrylonitrile butadiene styrene (ABS). **Polymer Degradation and Stability**. v. 127, pg. 32-43, 2016.

RAVICHANDRAN, S.; BOULDIN, R. M.; KUMAR, J.; NAGARAJAN, R. A renewable waste material for the synthesis of a novel non-halogenated flame retardant polymer. **Journal of Cleaner Production**. v.19, pg. 454-458, 2010.

SCHNEIDER, M., FINIMUNDI, N., PODZOROVA, M., PANTYUKHOV, P., Poletto, M. Assessment of Morphological, Physical, Thermal, and Thermal Conductivity Properties of Polypropylene/Lignosulfonate Blends. **Materials**. v. 14, n. 3, pg. 543 1-10, 2021.

TEJADO, A. *et al.* Physico-chemical characterization of lignins fron different souces for use in phenol-formaldehyde resin synthesis. **Bioresource Technology**. v. 98, n. 8, pg. 1655-1663, 2007.

ZHANG, W.; ZHAO, M.; LIU, R.; WANG, X.; LIN, H. Hierarchical porous carbon derived from lignin for high performance supercapacitor. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 484, pg. 518-527, 2015.

ZHANG, Z., MA, Z., WANG, Y. Green and Facile Fabrication of α-Zirconium Phosphate-Based Core−Multishell Nanoparticles for Enhancing Fire Retardant Performance of Poly(vinyl alcohol). **ACS Applied Nano Materials**. v. 3, n 19, pg. 8708−8718, 2020.

Influência dos parâmetros físicos e químicos sobre as águas naturais do Rio da Várzea – RS

Paulo Roberto Bairros da Silva[1], Maxwel Timm Portella[2], Frederico Fabio Mauad[3]

[1]*Departamento de Solos – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (paulo.bairros-Silva@ufsm.br)*

[2]*Departamento de Solos – Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (maxwelportella15@gmail.com)*

[3]*Programa de Pós Graduação-SEA-EESC da Universidade de São Paulo (mauadffm@sc.usp.br)*

Resumo: Atividades de extração mineral costumam provocar alterações significativas dos parâmetros físicos e químicos nas águas naturais de sistemas hídricos próximos alterando negativamente a sua qualidade. A degradação desses ecossistemas ocorre devido ao desmatamento das áreas, a erosão de solos desnudos, a instabilidade das encostas, ao rompimento de barragens de rejeitos, ao assoreamento de reservatórios e ao aporte e deposição de sedimentos contaminados. A mobilização dos sedimentos armazenado no fundo dos rios para a coluna de água, devido a alterações hidrodinâmicas ou nas condições físicas e químicas, podem ocasionar a contaminação das águas naturais levando a efeitos deletérios sobre os ecossistemas aquáticos. Nesse sentido, este estudo estabeleceu parâmetros físicos e químicos associados as águas do Rio da Várzea – RS, região de maior extração mineral de ametistas no mundo. Os parâmetros físicos e químicos da coluna de água avaliados (OD, EH, pH, CE, STD, NTU, T) não demonstraram sofrer influências diretas das atividades de mineração no Rio da Várzea – RS. Estes parâmetros parecem ser mais fortemente influenciados pelos solos locais, pela sazonalidade das chuvas e pelas alterações nas vazões médias.

Palavras-chave: Qualidade das águas naturais, Extração mineral, ressuspensão de sedimentos.

Influence of physical and chemical parameters on the natural waters of the river da Várzea-RS

Abstract: Mineral extraction activities often cause significant changes in the physical and chemical parameters of natural waters in nearby water systems, negatively affecting their quality. The degradation of these ecosystems occurs due to deforestation of areas, erosion of bare soils, instability of slopes, rupture of tailings dams, silting of reservoirs and the contribution and deposition of contaminated sediments. The mobilization of sediments stored at the bottom of rivers to the water column, due to hydrodynamic changes or changes in physical and chemical conditions, can cause contamination of natural waters, leading to deleterious effects on aquatic ecosystems. In this sense, this study

established physical and chemical parameters associated with the waters of the Várzea River – RS, a region with the largest mineral extraction of amethysts in the world. The physical and chemical parameters of the water column evaluated (DO, EH, pH, EC, STD, NTU, T) did not show direct influences from mining activities in the Várzea River – RS. These parameters appear to be more strongly influenced by local soils, seasonality of rainfall and changes in average flows.

Key words: Quality of natural waters, mineral extraction, sediment resuspension.

Introdução

A mobilização dos sedimentos de fundo dos sistemas hídricos para a coluna de água, devido a alterações nas condições físicas e químicas como as mudanças do potencial hidrogeniônico (pH) ou alterações do potencial redox (E_h) ou degradação da matéria orgânica, podem ocasionar efeitos deletérios sobre a qualidade das águas (Silva *et al*., 2024; Albertoni *et al.*, 2017). Em bacias hidrográficas com presença de atividades de extração mineral, ocorrem alterações significativas dos parâmetros físicos e químicos de qualidade de águas, como condutividade elétrica (CE), os sólidos totais dissolvidos (STD), a turbidez (NTU), a temperatura e o oxigênio dissolvido (OD) (Albertoni *et al.*, 2017; FRITZSONS *et al.*, 2009). No Brasil, a Resolução nº 357 de 2005 (Conama, 2005) disciplina padrões de qualidade e é utilizada como padrão de referência.

O parâmetro pH consiste na concentração dos íons H+ presentes nas águas, quando apresenta valores muito distintos da neutralidade pode conferir um caráter agressivo a vida dos organismos aquáticos e influenciar o fluxo de elementos sedimentos-água. já os valores de E_h informam sobre as condições de mobilidade dos elétrons, em condições de deficiências de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) durante a avaliação *in situ* (CETESB, 2017; Scheffer *et al.*, 2014).

O parâmetro CE é a capacidade da água em conduzir corrente elétrica e pode indicar o nível de solubilização de sais no ambiente aquático, portanto, está relacionada com as concentrações principais de íons determinantes da salinidade (cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonatos, sulfatos e cloretos), entretanto, ele representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2017; Fritzsons *et al*., 2009), em águas naturais. Pode-se esperar uma relação direta entre a CE e o parâmetro STD (matéria sólida capaz de transpor uma membrana

de 45μm) assume grande importância ambiental no controle da poluição de águas naturais em função dos potenciais danos as membranas de organismos filtradores aquáticos, como peixes, ostras e caramujos (CETESB, 2017; Scheffer, Bursch, 2010). A Turbidez, expressa em NTU (unidade nefelométrica), expressa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz tem ao atravessar uma amostra de água devido à presença de sólidos em suspensão. Valores elevados deste parâmetro podem estar associados a processos erosivos de margens ou áreas agrícolas, mau uso dos solos, aportes de efluentes (CETESB, 2017; Guimarães, Maniero, 2012).

A Temperatura (T) da água influencia na solubilidade de substâncias e gases, nas velocidades das reações químicas e bioquímicas e no metabolismo dos microrganismos (CETESB, 2017; Rocha *et al.*, 2009). O parâmetro OD indica a condição de preservação do meio aquático para a manutenção da vida de organismos. A redução do OD está relacionada com à oxidação de matéria orgânica no meio aquático e a presença de intensa atividade bacteriana que atua na sua decomposição (mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons) diretamente afetado pelo aporte de poluentes orgânicos (CETESB, 2017).

As relações de parâmetros físicos e químicos da coluna da água são fundamentais na compreensão da qualidade ambiental dos sistemas hídricos e dos sedimentos, já que estes valores influenciam de forma direta a disponibilidade das espécies químicas na interação dinâmica com a coluna d'água (Santos *et al.*, 2012). Nesse sentido, este estudo estabelece parâmetros físicos e químicos associados as águas do Rio da Várzea – RS, região de maior extração mineral de ametistas no mundo.

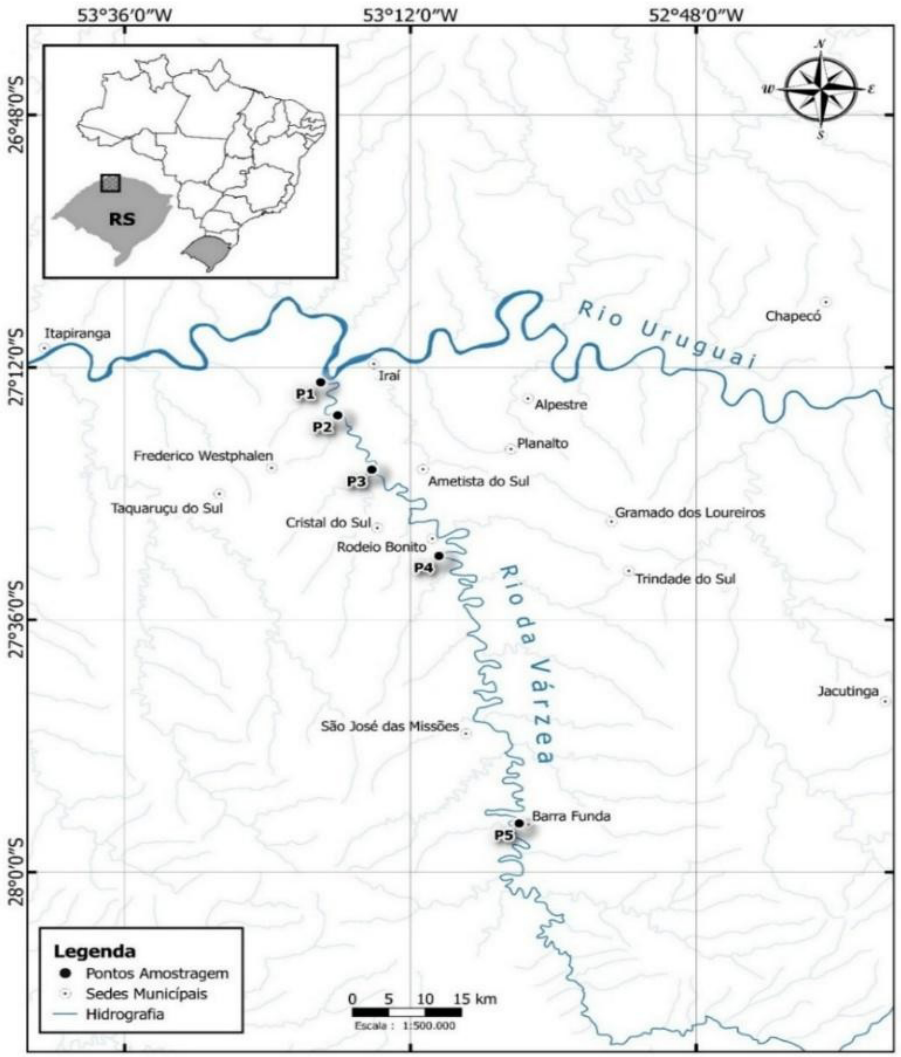
Metodologia

Área de Estudo

Localizada ao norte do Estado do Rio Grande do Sul (27°00' a 28°20' S e 52°30' a 53°50' W), na província geomorfológica do Planalto Meridional, a bacia hidrográfica do Rio da Várzea abrange 55 municípios do norte gaúcho, com uma área de 9.463,46 km² e população de 328.057 habitantes (FEPAM, 2018). O principal corpo hídrico componente da Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea é responsável por sua denominação, tem aproximadamente 165 km de extensão, também se destaca como um dos principais afluentes da margem esquerda do

Rio Uruguai, na região norte do estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2012).

Figura 01. Mapa da hidrografia na região de entorno do Rio da Várzea – RS.



A Figura 01 apresenta o comportamento de hidrografia na região e destaca os pontos amostrais (a montante e a jusante das zonas de prospecção mineral). Ao norte da bacia hidrográfica do Rio da Várzea, destacam-se atividades de mineração nos municípios de Ametista do Sul (maior produtor mundial de rocha ametista), Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Planalto, Iraí, Trindade do Sul e Gramado

dos Loureiros (Hartmann *et al.*, 2017). A extração varia em torno de 600 toneladas de rochas por ano de quartzo cristal de rocha, quartzo rosa, ônix, cornalina, jaspe, opala, ágata, ametista, calcita, apofilita, zeólitas, barita e gipsita (Juchem, 2014).

Essas atividades tendem a degradar os ecossistemas ambientais devido ao desmatamento, erosão de solos, instabilidade de encostas, rompimento de barragens de rejeitos, assoreamento de sistemas hídricos e alterações em parâmetros físicos, químicos e biológicos da água e contaminação de sedimentos (Santos *et al*., 2024).

Determinação de parâmetros físicos e químicos da água

A quantificação de parâmetros físicos e químicos da coluna de água foram quantificados in situ, em três campanhas amostrais (Tabela 01), que respeitaram critérios de variabilidade espacial e temporal, com o equipamento multiparâmetros Horiba U50 – oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T), condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), potencial hidrogeniônico (pH) e Potencial Redox (E_h) – por meio de eletrodos de referência calibrados com soluções padrões.

Tabela 01 – Campanhas e coordenadas dos pontos de coleta amostral no Rio da Várzea – RS.

Pontos	Siglas	Coordenadas		Campanha	Data
Barra Funda	BF	27° 55’ 22” S	53° 02’ 52” W	1°	02/07/2016
Rodeio Bonito	RB	27° 26’ 33” S	53° 10’ 13” W	2°	17/09/2016
Ametista do Sul	A	27° 21’ 44” S	53° 15’ 16” W		
Iraí – Ponte Velha	IPV	27° 16’ 33” S	53° 18’ 07” W	3°	01/11/2016
Iraí – BR 386	IBR	27° 13’ 25” S	53° 19’ 31” W		

A tomada de dados respeitou a seção transversal do rio (margens e centro, com sensores mergulhados a 30 cm de profundidade). No campo, após a estabilização dos parâmetros nos eletrodos, era ativada a função média (10 leituras para estabelecer o valor médio das concentrações).

Métodos estatísticos e de construção gráfica

O sistema on-line QuickCalcs Outlier Calculator foi utilizado para a realização do Teste de Grubbs (Graphpad Software, 2023). O software livre e gratuito PAST – PAleontological STatistics (Versão

4.17), desenvolvido por Hamnmer (2024), foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA) na distinção comparativa dos pontos amostrais.

Resultados e discussão

A Tabela 02 apresenta os parâmetros físicos e químicos da coluna de água determinados in situ em três campanhas no Rio da Várzea, nos pontos amostrais, com equipamento Horiba U50.

Tabela 02 – Parâmetros físicos e químicos estabelecidos in situ durante as campanhas amostrais.

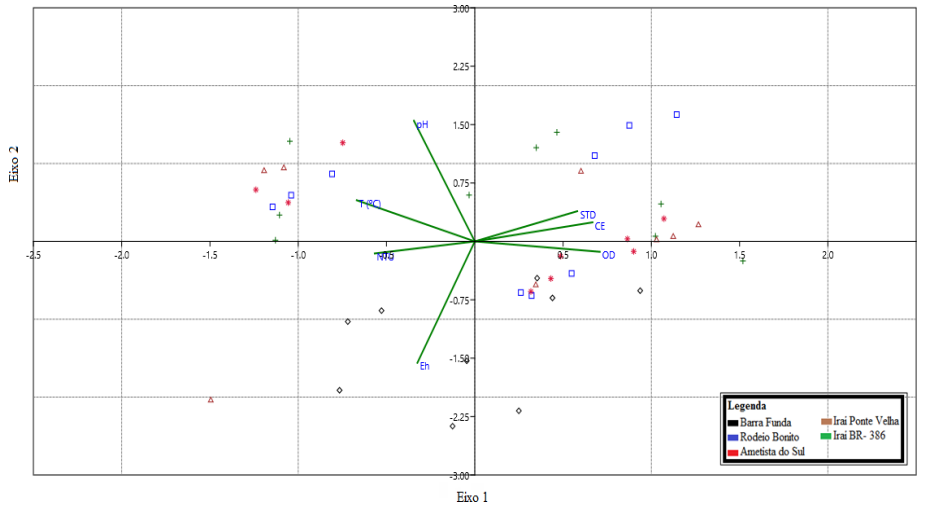
		Barra Funda	Rodeio Bonito	Ametista do Sul	Irai – Ponte Velha	Iraí – BR 386
		$\bar{X}$+ IC	$\bar{X}$+ IC	$\bar{X}$+ IC	$\bar{X}$+ IC	$\bar{X}$+ IC
	Parâmetros					
	Temperatura (ºC)	16,0 ± 0,1	17,2 ± 0,2	16,7 ± 0,2	16,4 ± 0,2	16,2 ± 0,1
1º CAMPANHA	Potencial Hidrogeniônico	4,5 ± 0,2	5,1 ± 0,1	4,6 ± 0,1	4,6 ± 0,2	4,4 ± 0,1
	Potencial Hidrogeniônico (mV)	59,3 ± 10,2	21,7 ± 6,4	53,0 ± 4,1	55,0 ± 9,9	63,7 ± 6,2
	Potencial Redox (mV)	268,0 ± 3,0	223,0 ± 21,0	255,0 ± 10,9	250,3 ± 11,0	243,7 ± 12,0
	Condutividade Elétrica (mS cm^{-1})	0,055 ± 0,005	0,059 ± 0,001	0,062 ± 0,001	0,065 ± 0,005	0,067 ± 0,005
	Turbidez (NTU)	8,5 ± 0,3	2,3 ± 0,7	2,5 ± 0,1	2,3 ± 0.5	3,0 ± 1,1
	Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})	18,4 ± 2,7	19,1 ± 2,6	17,0 ± 1,3	17,7 ± 1,9	16,3 ± 5,8
	Sólidos Totais Dissolvidos (g L^{-1})	0,036 ± 0,003	0,039 ± 0,001	0,037 ± 0,01	0,042 ± 0,003	0,043 ± 0,03
	Parâmetros					
	Temperatura (ºC)	17,5 ± 0,03	20,3 ± 0,1	21,4 ± 0,1	27,1 ± 0,1	22,5 ± 0,1
2º CAMPANHA	Potencial Hidrogeniônico	4,0 ± 0,3	4,2 ± 0,1	4,3 ± 0,04	4,6 ± 0,1	5,0 ± 0,1
	Potencial Hidrogeniônico (mV)	106,0 ±18,9	96,0 ± 4,1	90,0 ± 2,3	74,0 ± 7,4	51,0 ± 6,2
	Potencial Redox (mV)	304,0 ± 2,3	267,0 ± 15,6	273,0 ± 11,8	284,0 ± 53,5	245,0 ± 12,0
	Condutividade Elétrica (mS cm^{-1})	0,054 ± 0,001	0,062 ± 0,002	0,065 ± 0,003	0,047 ± 0,03	0,065 ± 0,005
	Turbidez (NTU)	18,4 ± 1,5	7,6 ± 0,6	6,5 ± 0,4	0,03 ± 0,02	9,6 ± 1,1
	Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})	15,9 ± 3,9	12,6 ± 1,3	12,5 ± 1,6	13,3 ± 1,0	14,3 ± 5,8
	Sólidos Totais Dissolvidos (g L^{-1})	0,035 ± 0,001	0,040 ± 0,001	0,042 ± 0,002	0,031 ± 0,02	0,043 ± 0,003
	Parâmetros					
	Temperatura (ºC)	23,2 ± 0,1	25,2 ± 0,01	26,1 ± 0,04	25,9 ± 0,03	26,2 ± 0,1

3º CAMPANHA	Potencial Hidrogeniônico	4,3 ± 0,2	4,8 ± 0,1	4,9 ± 0,2	5,4 ± 0,2	5,1 ± 0,1
	Potencial Hidrogeniônico (mV)	80,0 ± 13,8	51,3 ± 8,8	45,3 ± 10,5	13,7 ± 0,7	40,0 ± 6,2
	Potencial Redox (mV)	308,3 ± 12,4	250,0 ± 21,2	253,0 ± 31,9	271,0 ± 22,3	275,7 ± 12,0
	Condutividade Elétrica (mS cm^{-1})	0,054 ± 0,004	0,053 ± 0,001	0,053 ± 0,001	0,029 ± 0,01	0,052 ± 0,005
	Turbidez (NTU)	12,5 ± 0,6	18,7 ± 0,2	17,3 ± 0,4	15,1 ± 0,6	14,7 ± 1,1
	Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})	9,1 ± 1,1	8,4 ± 0,6	8,8 ± 1,0	9,6 ± 0,7	8,4 ± 5,8
	Sólidos Totais Dissolvidos (g L^{-1})	0,035 ± 0,003	0,033 ± 0,001	0,034 ± 0,001	0,029 ± 0,01	0,035 ± 0,003

$\bar{x}$ = média da tomada de dados (margens e centro); IC = Intervalo de confiança (p = 0,05).

A Figura 2, Eixo 1 apresenta autovalor 3,4 e explica 49,6% da variância de dados, o Eixo 2, apresenta autovalor 1,5 e explica 21% da variância de dados, a PCA explica 70,6% da variância total de dados.

Figura 2 – Análise PCA dos parâmetros físicos e químicos quantificados no Rio da Várzea – RS.



Também na Figura 2, pode-se observar que o ponto de Barra Funda (P5) distancia-se dos demais em função de seus valores EH, os valores de pH têm influência mais expressiva sobre os pontos de Rodeio Bonito (P4), Ametista (P3) e Iraí – Ponte Velha (P2) e os valores de OD aproximam os pontos de Rodeio Bonito (P4), Ametista (P3) e Iraí – Ponte Velha (P2).

O Eixo 1 apresenta correlação positiva para OD, STD, CE e negativos para NTU e T (Tabela 3), mostrando a influência inversa que

as temperaturas exercem sobre a concentração de gases dissolvidos na água, além de correlacionar a presença de sais dissolvidos que influenciam de forma equivalente os STD e a CE.

Tabela 3 – Forças envolvidas na PCA: parâmetros físicos e químicos (Rio de Várzea – RS).

		T	pH	E_h	CE	NTU	OD	STD
LOADINGS	PC 1	-0,4	-0,2	-0,2	0,4	-0,4	0,5	0,4
	PC 2	0,2	0,7	-0,7	0,1	-0,1	-0,1	0,2

O Eixo 2 apresenta correlação positiva para o pH, mostrando o caráter levemente ácido das águas do Rio da Várzea e negativa para EH, revelando que este parâmetro é pouco representativo para diferenciação entre as campanhas e pontos amostrais.

Conclusão

Os parâmetros físicos e químicos da coluna de água (OD, EH, pH, CE, STD, NTU, T) não sofrem influências diretas das atividades de mineração no Rio da Várzea – RS. Estes parâmetros parecem ser mais fortemente influenciados pela sazonalidade e as alterações nas vazões médias. O pH levemente ácido favorece a precipitação de elementos químicas nos sedimentos, e pode ser explicado pelo predomínio do solo Latossolo Vermelho Distrófico Húmico na bacia hidrográfica. O EH oxidante favorece a transferência de elétrons entre as espécies químicas nos sedimentos. A PCA explicou 70,6% da variância de dados dos parâmetros físicos e químicos indicando correlação positiva para OD, STD, CE e a aproximação de comportamento dos pontos amostrais RB, BF e PVI. Os parâmetros CE, STD, NTU e OD apresentam dentro das referências adotadas pela resolução 357 (Conama, 2005) e pela CETESB (2017).

Referências

ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C.; TRINDADE, C.R.; FURLANETTO, L.M. Water quality of the São Gonçalo channel, urban and agricultural water supply in southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Brasil, v. 22, 2017.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo:** Apêndice E – significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade, 2017. 57 p.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p. 27.

FEPAM – **Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Bacia hidrográfica do rio da Várzea**. Porto Alegre, 20 Fev. 2018. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/. Acesso em: 20 Fev. 2018.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; NETO, A.C.; HINDI, E.C. A influência das atividades mineradoras na alteração do pH e da alcalinidade em águas fluviais: o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Brasil, v. 14, n. 3, p. 381-390, 2009.

GRAPHPAD SOFTWARE. **Quick Calcs Outlier Calculator**. Disponível em http://graphpad.com/quickcalcs/Grubbs1.cfm. Acesso em: 03. Dez. 2023.

GUIMARÃES, J.R.; MANIERO, M.G. Tratamento de Água e Efluentes Líquidos. In: **Meio Ambiente & Sustentabilidade**, 2012. p. 322-345.

HAMMER, Ø. **Past PAleontological Statistics (version 3.41)**. Oslo: Natural History Museum University of Oslo, 2015. 243p.

HARTMANN, L.A.; PERTILLE, J.; DUARTE, L.C. Giant-geode endowment of tumuli in Veia Alta flow, Ametista do Sul. **Journal of South American Earth Science**, v.77, p. 51-57, 2017.

JUCHEM, P.L. (2014) **Materiais Gemológicos do Rio Grande do Sul. Técnicas Instrumentais não destrutivas aplicadas as gemas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre/BR: Editado pelo IGEO da UFRGS.

ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. Recursos Hídricos. In: **Introdução a Química Ambiental**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009. p. 41-92.

SANTOS, S.; OLIVEIRA, L.C.; SANTOS, A.; ROCHA, J.C.; ROSA, A.H. Poluição Aquática. In: **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012. p. 17-46.

SCHEFFER, E.W.O.; BURSCH, O.M. **Qualidade da água. Pitangui, rio de contrastes:** seus lugares, seus peixes, sua gente, 2010. Ponta Grossa: Editora UEPG, 199p.

SCHEFFER, E.W.O.; BUSCH, O.M.S.; VIANA, A.G.; KLOTH, A.E.G. **Características físico-químicas e biológicas das águas**. Rio São João, Carambeí, PR: fonte de vida, cuidados devidos, 2014. Ponta Grossa: Editora da UEPG, 297p.

SEMA – Secretária do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2012. 284 p.

SANTOS, C.E.; MANCUSO, M.A.; SILVA, P.R.B.; MOTTA, J.A.M. (2024) Avaliação da quali-dade ambiental dos sedimentos do parque estadual do turvo. **Geografia Ensino & Pesquisa**, a, v. 28, e85640, p. 1-20.

Análise do desempenho da adição de resíduos de usinagem nas propriedades mecânicas do concreto

Renata Gomes Mardero, Vinício Cecconello
Universidade de Caxias do Sul (rgmardero@ucs.br; vcecconello@ucs.br)

Resumo: Este trabalho apresenta a avaliação do desempenho do concreto com adição de resíduos metálicos de usinagem, como alternativa sustentável para a construção civil. Traços contendo 1%, 1,5% e 2% de adição de resíduos foram testados quanto ao abatimento do tronco de cone, a absorção de água por capilaridade, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e resistência à compressão. O traço com 1,5% de resíduos apresentou a menor absorção de água, favorecendo a durabilidade e bons resultados de resistência à tração por compressão diametral. O traço com 2% também mostrou bons resultados de resistência, destacando a resistência à tração por compressão e na flexão, embora tenha a menor trabalhabilidade dos traços, reduzindo a facilidade de manuseio no estado fresco. Enquanto o traço com 1% apresentou algumas melhorias nas propriedades mecânicas em relação ao concreto convencional, mas menos expressivas do que as demais adições. De forma geral, o traço que obteve melhores desempenho foi o de 1,5% de adição de resíduo, seguido pelo traço com 2% de adição. Este estudo aponta que a adição de resíduos de usinagem no concreto é uma alternativa eficaz e ecologicamente responsável, com melhorias significativas nas propriedades do concreto e uma contribuição relevante para a diminuição de resíduos da indústria.

Palavras-chave: resíduo de usinagem; concreto reforçado; propriedades mecânicas.

Analysis of the performance of lathe machine scrap addition on the mechanical properties of concrete

Abstract: This study presents the evaluation of the performance of concrete with the addition of lathe machine scrap, as a sustainable alternative for civil construction. Mixtures containing 1%, 1.5% and 2% of waste addition were tested for slump, water absorption by capillarity compressive attraction strength, flexural tensile strength and compressive strength. The mix with 1.5% of waste exhibited the lowest water absortion, favoring durability, and good results of tensile strength by collaboration. The mix with 2% also showed good strenght results, particularly in tensile strength by traction and flexure, although it has a lower workability of the mixes, reducing ease of handling in the fresh state. Meanwhile, the mix with 1% showed some improvements in mechanical properties in relation to conventional concrete, but less expressive than the other additions. Overall, the mix with 1.5% waste addition demonstrated the

best performance, followed by the mix with 2%. This study indicates that the addition of the machine scrap to concrete is an effective and environmentally responsible alternative, with significant improvements in concrete properties and a relevant contribution to the reduction of industrial waste.

Key words: lathe machine scrap; reinforced concrete; mechanical properties.

Introdução

A necessidade de reaproveitamento ou destinação mais adequada para sucata e resíduos da indústria metalúrgica tem se tornado cada vez mais evidente. Nesse contexto, a Construção Civil apresenta-se como uma alternativa viável, aproveitando os benefícios que esses materiais podem oferecer. A Lei 12.305, de 2010, reforça a importância do gerenciamento dos resíduos sólidos e incentiva práticas de produção e consumo sustentáveis, além de promover a reciclagem.

Segundo Figueredo (2011), a baixa capacidade de deformação do concreto quando submetido a tração e o comportamento frágil são características negativas do concreto tradicional, por isso é utilizada armaduras de aço para resistir aos esforços de tração. Ainda, o concreto reforçado com fibras surge como uma alternativa ao concreto armado, uma vez que o módulo de elasticidade e a resistência mecânica são propriedades que ajudam a reforçar o concreto convencional.

De acordo com Shrivastava e Joshi (2014) a função das fibras no concreto reforçado com fibra de sucata de aço é melhorar a durabilidade, ductibilidade pós pico, resistência ao impacto, resistência a fadiga, resistência a tração pré fissura e fissuras por retração térmica. Para que isso ocorra as fibras devem ter comprimento suficiente, módulo de elasticidade maior que o concreto e devem ter uma boa aderência ao concreto.

Conforme Kwon *et al.* (2015), os resíduos de usinagem são mais baratos que as fibras de aço encontradas no mercado, sendo semelhantes em componentes e propriedades. Com isso, quando adicionados ao concreto, ambos resíduos de usinagem e fibra de aço, mantém o mesmo desempenho. O resíduo de usinagem, conhecido popularmente como cavaco, é obtido através de ferramentas e maquinários visando obter o formato e acabamento final de uma determinada peça. Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, por ser um polo metal mecânico de grande importância para o Brasil acaba por ter grandes volumes desse resíduo

disponível e precisando de um destino correto, para não serem descartados de forma incorreta.

Com o aumento populacional e industrial, ocorre por consequência, o aumento da disponibilidade de resíduos metálicos gerados pela indústria. No qual esses resíduos poderão ser utilizados para a produção de concreto reforçado com fibra (CRF) a um custo menor do que fibras metálicas (Qureshi, 2016). O uso de resíduos metálicos provenientes de indústria de usinagem como alternativa de reforço ao concreto convencional se revela uma alternativa sustentável e economicamente viável do ponto de vista ambiental e social. Tendo isso em vista, o objetivo principal dessa pesquisa é avaliar o comportamento do concreto com adição de 1%, 1,5% e 2% de resíduo de usinagem, nos intervalos de 7 dias, 28 dias e 49 dias.

Materiais e Métodos

Neste capítulo serão abordadas as atividades a serem realizadas sequencialmente no programa experimental para alcançar os resultados deste trabalho.

Os materiais que foram utilizados nesta campanha experimental realizada no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Caxias do Sul são provenientes de Caxias do Sul (RS) e suas proximidades. Visando haver maior proximidade com a fonte dos recursos e ajudar a economia local. Os materiais utilizados foram água, Cimento Portland Pozolânico classe 32 (CPIV-32), agregado graúdo de origem basáltica (brita 0 e brita1), agregado miúdo (areia de rio) e resíduo de usinagem.

A determinação da granulometria, da dimensão máxima característica e módulo de finura dos agregados dos agregados foram determinadas conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022). A massa específica do agregado miúdo foi determinada conforme a NBR 9776 (ABNT, 1987) pelo método do frasco de Chapman. O ensaio foi feito utilizando duas amostras e resultou na massa específica média de 2,585 g/cm^3. A determinação da massa específica do agregado graúdo foi dada conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009), enquanto a massa unitária dos agregados foi realizada com base no Método C da NBR 16972 (ABNT, 2021). Os resultados da caracterização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados caracterização dos agregados

	Agregado miúdo	**Agregado graúdo (B0)**	**Agregado graúdo (B1)**
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	9,5	12,5
Módulo de finura	2,19	5,98	7,00
Massa específica do agregado seco (g/cm^3)	-	2,67	2,68
Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm^3)	-	2,43	2,55
Absorção da água (%)	-	6,29	3,33
Massa unitária (g/cm^3)	1,60	1,36	1,41

Fonte: Autora (2024)

Após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados miúdos e graúdos conforme as normas técnicas vigentes foi possível determinar que os materiais a serem utilizados encontram-se dentro dos parâmetros adequado para a utilização no concreto. Esses resultados contribuem para que sejam alcançadas as propriedades mecânicas desejadas.

Após a coleta, os resíduos que possuíam comprimentos maiores foram cortados preferencialmente em tamanhos de 40 a 60 mm de comprimento, sendo tamanhos indicados por Qureshi (2016) como sendo os que obtiveram melhores resultados nos ensaios propostos. Os resíduos de usinagem utilizados são do tipo tubular curto e em arco, conforme classificação da NBR ISO 3685 (ABNT, 2017). Esses resíduos são provenientes do aço SAE 4320 da Gerdau e possui massa específica de 7,85 g/cm^3.

Para a fabricação do concreto foi determinado um traço de referência como sendo 1:1,88:2,86 (Qureshi, 2016), considerando cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, numa proporção de 50% para cada um dos dois tipos. Já a relação água/cimento determinada inicialmente como sendo 0,5 com base em Mello (2024) e posteriormente foi ajustada para 0,6 para que se tivesse uma melhor trabalhabilidade. As porcentagens de adição de resíduo de usinagem no concreto foram determinadas com base em Bae *et al.* (2014), Qureshi (2016) e Shrivasta (2014), como sendo 1%, 1,5% e 2% da massa em quilograma dos materiais secos. A qual foram nomeados como TR sendo traço de referência, T1 com 1% de adição, T1,5 com 1,5% de adição e T2 com 2% de adição.

Este estudo envolveu a realização de ensaios nas propriedades do concreto, no estado fresco e endurecido, tanto com adição de resíduos, como sem a adição de resíduos de usinagem. No estado fresco foi realizado o ensaio de abatimento do concreto e no estado endurecido os corpos de prova foram ensaiados para absorção de água por capilaridade, resistência a tração por compressão diametral, tração na flexão e compressão, esses ensaios foram realizados para os quatro traços previamente definido.

Os ensaios devem ser feitos a partir da realização da moldagem e cura de corpos de provas que devem seguir estritamente a NBR 5738 (ABNT, 2015) que rege esse tópico. O abatimento do tronco de cone é utilizado para determinar a consistência do concreto, o abatimento do concreto ao final do ensaio é dado em milímetros, sempre de acordo com a NBR 16889 (ABNT, 2020). O ensaio de absorção de água por capilaridade realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012).Para determinar a resistência a tração por compressão é realizada a aplicação da carga de forma constante diretamente no corpo de prova cilíndrico, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011). Já a resistência à tração na flexão, descrita pela NBR 12142 (ABNT, 2010), na qual utiliza corpos de prova prismáticos e a aplicação da força ocorre de forma perpendicular as faces superior e inferior do corpo de prova, que por sua vez este apoiado próximo as extremidades. E, por fim, o ensaio de compressão, em que ocorre a aplicação de carga axial constante por minuto, cessando quando ocorre a queda abrupta no carregamento que indica o rompimento do corpo de prova, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Resultados

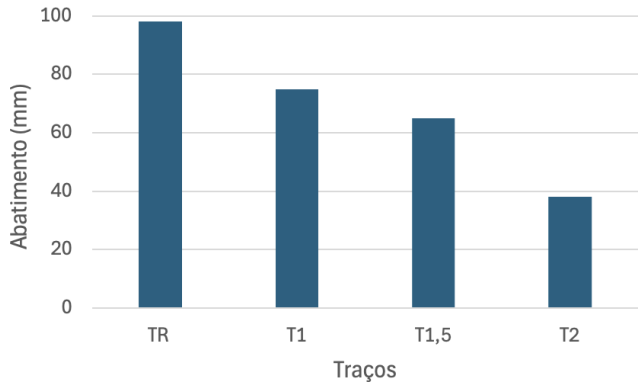
Este capítulo apresenta e discute os resultados dos ensaios realizados no âmbito do estudo proposto para este trabalho. Os resultados dos ensaios foram apresentados em cinco tópicos, sendo eles: abatimento do tronco cone, absorção de água por capilaridade, resistência a tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e resistência à compressão.

Abatimento do tronco de cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone realizado com base na NBR 16889 (ABNT, 2020), foi determinado para cada um dos quatros traços. Inicialmente a relação água cimento havia sido definida como

sendo 0,5 e foi ajustada para 0,6 para todos os traços a fim de obter uma melhor trabalhabilidade do concreto. O abatimento do concreto obteve valores decrescentes conforme o aumento da adição de resíduo de usinagem, com valores de 98 mm, 75 mm, 65 mm e 38 mm, respectivamente para os traços TR, T1, T1,5 e T2. Esses valores podem ser observados na Figura 1 para a melhor visualização da diminuição do abatimento nos traços.

Figura 1 – Abatimento do tronco de cone



Fonte: Autora (2024)

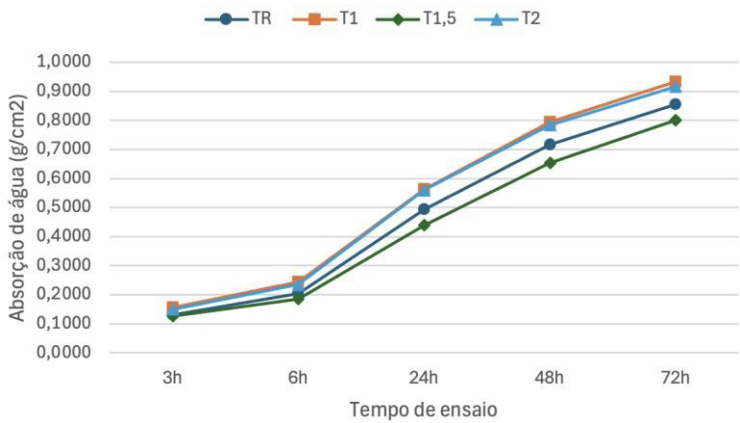
A partir dos resultados obtidos foi possível observar que o abatimento do tronco de cone teve uma redução de 23%, 34% e 61% em relação ao TR, para os traços T1, T1,5 e T2 respectivamente. Esse decréscimo era esperado em virtude do aumento da adição de resíduo, visto que conforme o aumento da adição menor se torna a trabalhabilidade do concreto.

De acordo com Shrivastava e Joshi (2014) e Qureshi, Raina e Rufaie (2016) os valores do abatimento do tronco cone decrescem conforme o aumento da adição de resíduo. Já para Soon-Oh *et al.* (2015) para manter a trabalhabilidade conforme o aumento da adição de resíduos ocorre o aumento da adição de superplastificante, indicando que se não houvesse essa adição de superplastificante a trabalhabilidade do concreto diminuiria conforme o aumento da adição dos resíduos. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados neste trabalho.

3.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012), em que foram utilizadas duas amostras para cada um dos quatro traços, com verificação das massas no início do ensaio e em 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, considerando a área da seção transversal do corpo de prova como sendo 78,54 cm^2. Na Figura 2 é apresentado os resultados para todos os tempos de ensaio, com valores das massas coletadas para ensaio.

Figura 2 – Absorção de água por capilaridade



Fonte: Autora (2024)

Para concretos reforçados com resíduos metálicos o ideal é menor absorção de água possível, uma vez que a absorção de água esta diretamente ligada a permeabilidade do concreto. Quanto maior for a absorção mais água e potencialmente mais agentes agressivos podem penetrar no concreto, esse fator sendo particularmente crítico para concretos com resíduos metálicos pois a entrada de água e íons agressivos (cloretos e sulfatos) podem acelerar a corrosão dos componentes metálicos, comprometendo a durabilidade do concreto.

O menor índice de absorção de água por capilaridade observado no traço T1,5 pode ser justificado pela interação equilibrada entre o resíduo e a matriz cimentícia. Essa proporção parece ter alcançado um ponto de otimização onde o resíduo atua como um micro enchimento, reduzindo a porosidade e interrompendo a conectividade dos poros capilares. Além disso, há a possibilidade de o resíduo, nessa quantidade, ter favorecido a formação de uma estrutura mais densa e uniforme

na matriz, preenchendo os espaços vazios sem criar aglomerações ou interferir negativamente no processo de hidratação do cimento.

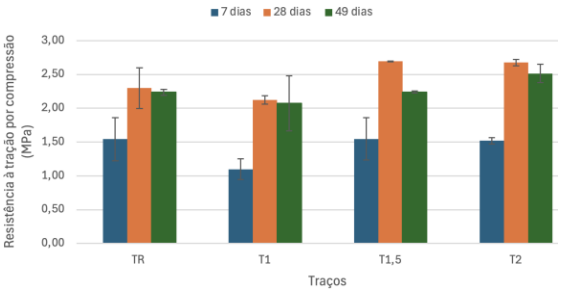
Em adições menores, como no traço T1, a quantidade de material pode ter sido insuficiente para impactar significativamente a redução da porosidade. Já em proporções maiores, como no traço T2, o excesso pode ter causado efeitos adversos, como aglomerações, micro defeitos ou alterações no equilíbrio da hidratação, que aumentam a conectividade dos poros. O traço de referência apresenta um comportamento típico de uma matriz cimentícia convencional, sem o benefício de preenchimento proporcionado pelo resíduo.

Resistência à tração

Na determinação da resistência à tração por compressão diametral foram utilizados seis corpos de prova cilíndricos para cada um dos quatro traços. Os rompimentos foram realizados com 7 dias, 28 dias e 49 dias. Os dados obtidos em laboratório foram processados para minimizar o impacto de possíveis falhas nos materiais ou problemas de moldagem.

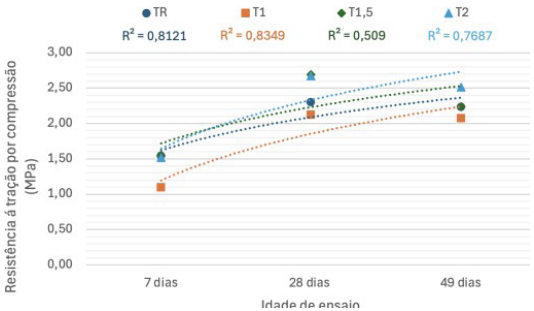
A análise dos resultados permitiu observar que, aos 7 dias, o traço T1 apresentou uma redução de aproximadamente 28% na resistência à tração em comparação com o traço de referência, enquanto os traços T1,5 e T2 mostraram valores semelhantes ao do traço de referência. Aos 28 dias, houve uma redução de cerca de 8% na resistência do traço T1 em relação ao traço de referência, e um aumento de aproximadamente 17% para os traços T1,5 e T2. Em 49 dias o traço T1 obteve uma redução de aproximadamente 7% em relação ao traço de referência, o traço T1,5 alcançou praticamente o mesmo valor de resistência, enquanto o T2 obteve um aumento de 12%. Observa-se que, embora o traço de referência apresente os maiores valores absolutos em 7 dias, esse comportamento não se mantém nos tempos de cura mais avançados (28 e 49 dias), nos quais o traço T2 apresenta os melhores resultados em termos de resistência. Os resultados detalhados do ensaio são apresentados na Figura 3 e na Figura 4.

Figura 3 – Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autora (2024)

Figura 4 – Resistência à tração por compressão diametral ao longo do tempo



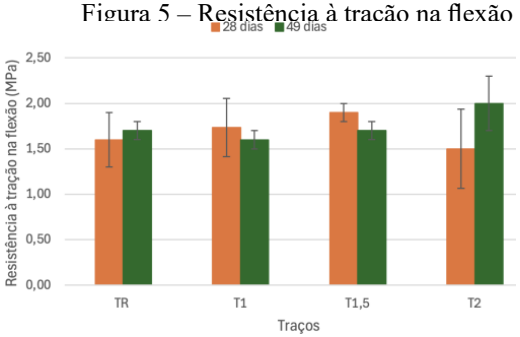
Fonte: Autora (2024)

A linha de tendência do T2 apresenta o comportamento mais consistente e uniforme, com um crescimento contínuo da resistência ao longo do tempo. O coeficiente de determinação reflete uma boa correlação entre os dados experimentais e o modelo ajustado, mostrando que o traço com 2% de resíduo conseguiu equilibrar os efeitos do material adicionado na matriz cimentícia. Comparado ao traço T1, que apresenta resistência intermediária, e ao traço T1,5, que exibe comportamento mais disperso e menos previsível, o T2 demonstra ser o traço mais eficiente em termos de estabilidade e desempenho ao longo do tempo. Portanto, o traço T2 apresenta o melhor desempenho geral, superando os demais traços, incluindo o traço de referência, em 28 e 49 dias, destacando-se como uma alternativa promissora, especialmente para aplicações onde a consistência e o ganho contínuo de resistência são mais relevantes do que o desempenho inicial.

Para Mello et at. (2023) o traço com 10% de substituição do agregado foi o que atingiu melhor resultado de resistência à tração por compressão diametral em relação ao traço de referência, seguido pelos traços com 5% e 15% de substituição respectivamente. O que indica que a adição de resíduo auxilia no aumento da resistência à tração por compressão assim como ocorreu neste trabalho.

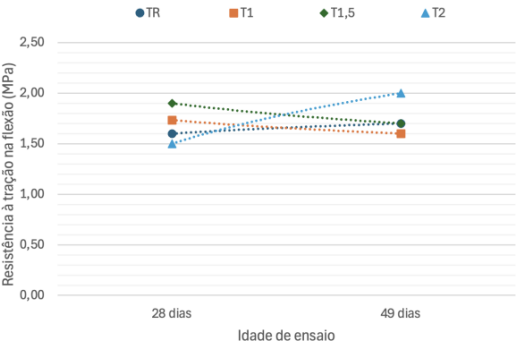
Para a determinar a resistência à tração na flexão, foram utilizados seis corpos de prova prismáticos para cada um dos quatro traços. Os rompimentos foram realizados com 28 dias e 49 dias. Os dados obtidos em laboratório foram processados para reduzir possíveis interferências de materiais com falhas ou problemas de moldagem. Os resultados do ensaio estão apresentados na Figura 5 e na Figura 6.

Figura 5 – Resistência à tração na flexão



Fonte: Autora (2024)

Figura 6 – Resistência à tração na flexão ao longo do tempo

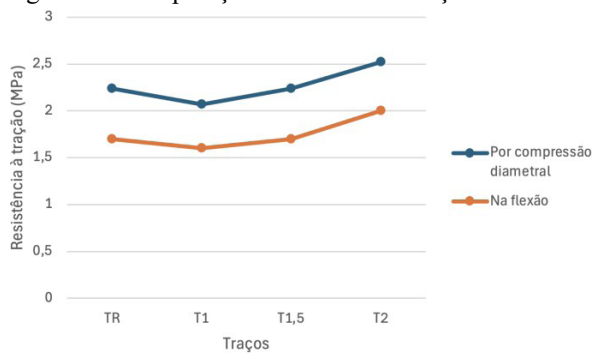


Fonte: Autora (2024)

A partir dos resultados obtidos aos 28 dias o T2 teve uma redução de aproximadamente 6% no valor da resistência a tração em relação ao TR, enquanto os traços T1 e T1,5 obtiveram aumento de 8% e 18% respectivamente em relação ao TR. Já em 49 dias, o traço T1 obteve uma redução de 6% em relação ao TR, o traço T1,5 obteve em média o mesmo resultado, enquanto o traço T2 obteve um aumento de 18%. Loch *et al.* (2023) obtiveram o melhor resultado como sendo um aumento de 19% com o traço com 0,75% de adição de resíduo, seguido por 2,25%, 1,25% e 1,75%, respectivamente, esse aumento pode estar ligado à união do resíduo de usinagem ao concreto.

Após os resultados aos 49 dias dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e na flexão foi possível realizar a comparação entre ambos os resultados. Os resultados dessa comparação podem ser observados na Figura 7.

Figura 7 – Comparação resistências à tração em 49 dias

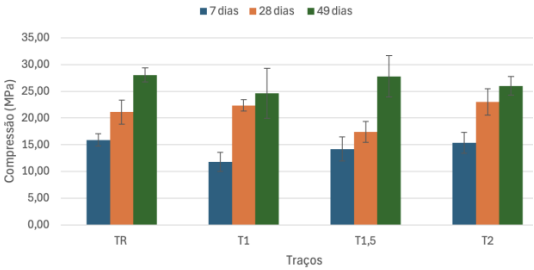


Fonte: Autora (2024)

Para todos os traços houve um aumento proporcional de aproximadamente 30% da resistência à tração na flexão para a resistência à tração por compressão. Esse aumento constante em todos os traços sugere uma relação direta entre esses dois ensaios, independentemente do valor de adição de resíduo de usinagem.

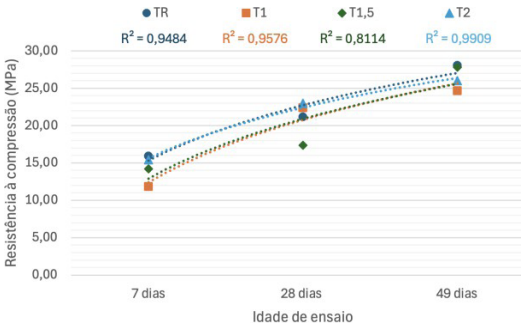
Para determinar a resistência à compressão, foram utilizados nove corpos de prova cilíndricos para cada um dos quatro traços. Os rompimentos foram realizados com 7 dias, 28 dias e 49 dias. Os dados obtidos em laboratório foram processados para reduzir possíveis interferências de materiais com falhas ou problemas de moldagem. Os resultados do ensaio são apresentados na Figura 22 e na Figura 23.

Figura 8 – Resistência à compressão



Fonte: Autora (2024)

Figura 9 – Resistência à compressão ao longo do tempo



Fonte: Autora (2024)

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que com 7 dias os traços T1, T1,5 e T2 tiveram uma redução, respectivamente, de 25%, 10% e 3% no valor da resistência à compressão em relação ao traço de referência. Já em 28 dias o traço com T1,5 obteve uma redução de aproximadamente 17% em relação ao traço de referência, enquanto os traços T1 e T2 obtiveram um aumento de 5% e 8%, respectivamente. Em 49 dias os traços T1 e T2 obtiveram uma redução de 12% e 8% respectivamente, enquanto o traço com 1,5% de adição obteve praticamente o mesmo valor do traço de referência. Com base nas linhas de tendência foi possível observar que o traço de referência foi o que obteve o melhor resultado, sendo seguido pelos traços T2, T1 e T1,5, todos obtendo valores muito próximos.

Conforme Qureshi, Raina e Rufaie (2016) e Shrivastava e Joshi (2014) o traço com 1,5% de adição de resíduo foi o que obteve melhor resultado de resistência à compressão, em contrapartida o traço com

2% de adição obteve uma redução no valor da resistência em relação ao traço de referência. Loch *et al.* (2023) obteve o melhor resultado para compressão no traço com 1,75% de adição, seguido por 0,75%, 2,25% e 1,25%, todos com melhor resultado em relação ao traço de referência. Para Mello et at. (2023) o traço com 10% de substituição do agregado foi o que atingiu melhor resultado em relação ao traço de referência, seguido pelos traços com 15% e 5% de substituição respectivamente. No entanto Soon-Oh *et al.* (2015) obtiveram resultados uma ligeira diminuição conforme o aumento da adição de resíduos.

Os resultados de Soon-Oh *et al.* (2015) vão de encontro aos resultados deste trabalho para 7 dias e 49 dias de ensaio de resistência à compressão. Já Qureshi, Raina e Rufaie (2016), Shrivastava e Joshi (2014) e Mello et at. (2023) estão alinhados com os resultados obtidos em 28 dias de ensaio.

Conclusões

Neste estudo, foi investigada a influência da adição de diferentes porcentagens de resíduo de usinagem nas propriedades mecânicas do concreto, com ênfase na resistência à compressão, tração por compressão e tração na flexão. Conclui-se ao final da pesquisa que os resultados obtidos são consistentes e apresentam relação com outros estudos utilizados como base. De forma geral, o concreto reforçado com resíduo metálico oferece resultados esperados e satisfatórios para os traços com 1,5% de adição e 2% de adição de resíduo.

No estado fresco o ensaio de abatimento do tronco de cone foi utilizado para analisar o comportamento do concreto com adição de resíduo metálico, onde foi observado a redução no valor do abatimento conforme o aumento da adição. Para o ensaio de absorção de água por capilaridade o traço T1,5 foi o que obteve a menor absorção. Este traço tende a ser o que terá melhor durabilidade e resistência a processos de degradação, como a corrosão das partículas metálicas.

Os concretos reforçados com resíduo metálico no ensaio de resistência à tração por compressão diametral obtiveram aumento do valor para os traços T2 e T1,5 em relação ao traço de referência. E o ensaio de resistência à tração na flexão o traço que obteve o melhor desempenho foi o T2, o T1,5 obteve praticamente o mesmo valor do que o traço de referência. Esses resultados são justificados pela resistência à tração do aço ser mais elevada do que a do concreto e pela união do resíduo metá-

lico à matriz cimentícia. Referente ao comportamento do concreto com adição de resíduo de usinagem na resistência a compressão observou-se uma tendência a diminuir em relação ao traço de referência. Essa diminuição não foi considerada significativa e também pode estar ligada a problemas na moldagem. Levando em consideração que o propósito do concreto reforçado com resíduo metálico é aumentar a resistência à tração, o qual foi encontrado nesta pesquisa.

Os resultados desta pesquisa foram satisfatórios, destacando os traços T1,5 e T2 como os que obtiveram melhores resultados nos ensaios propostos. Para esses traços foi possível afirmar com um grau considerável de precisão que houve uma melhora no comportamento mecânico do concreto reforçado com resíduo metálico. Esse aprimoramento pode estar relacionado ao fato de os resíduos serem de aço, material com resistência mecânica superior à da areia. Além disso, a diversidade de formas e tamanhos dos resíduos, até certos teores, possibilita um preenchimento mais eficaz dos vazios na matriz do concreto.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3685:** Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Argamassa e Concreto – Determinação da Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779:** Argamassa e Concretos Endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistencia à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972:** Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2021.

BAE S, JEON J, KWON S, LEE H, KIM S, 2014. Characteristics evaluation of lathe scrap for manufacturing fiber reinforced cementitious composites. **Journal of the Korean Society of Disaster information**, v. 10, n. 3, p. 432-441, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 1-22, 3 ago. 2010. PL 203/1991.

FIGUEREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. 2011. 248f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil II da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2011.

KWON, S.; BAE, S.; LEE, H.; KIM, S.; PARK, J. Influence of Measurements of lathe scrap on the characteristics of fiber reinforced cementitious composites. **Journal of the Korean Society of Disaster information**. v. 10, n. 3, p. 432-441, 2015.

LOCH, A.; GURKEWICZ, R. P.; WANDERLIND, A.; PICCININI, A. C.; PIVA, J. H.; ANTUNES, E. G. P. Análise do efeito da adição de cavacos de aço nas propriedades mecânicas do concreto. **Cerâmica Industrial Revista do técnico cerâmico brasileiro**, v. 28, n. 1, out. 2023.

MELLO, P. H. C.; ALTOÉ, S. P. S.; GIDRÃO, G. M. S. **Caracterização mecânica do concreto reforçado por fibras de limalha de aço**. Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção, Foz do Iguaçu, PR, v. 8, p. 1-7, out. 2023.

MELLO, P. H. C.; ALTOÉ, S. P. S.; GIDRÃO, G. M. S.; RIBEIRO, O. G. N.; THOMAZOTTI, P. M. Análise mecânica de concretos com substituições parciais de agregados por limalha de aço. **Revista Matéria**, v. 29, n. 1, 2024.

QURESHI, Z. N.; RAINA, Y. M.; RUFAIE, S. M. A. Strength characteristics analysis of concrete reinforced with lathe machine scrap. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 4, n. 4, p. 210-217, jul./ago. 2016.

SHRIVASTAVA, P.; JOSHI, Y. P. Reuse of lathe waste steel scrap in concrete pavements. International Journal of Engineering research and Applications, v. 4, n.12, p. 45-54, dez. 2014.

SOON-OH, K.; SU-HO, B.; HYUN-JIN, L.; KIM, S. W.; JUNG-LUN, P. Influence of Measurements of Lathe Scrap on the Characteristics of Fiber Reinforced Cementitious Composites. **Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures**, v. 6, n. 2, p. 70-76, jun. 2015.

Remoção do corante alimentício ponceau 4R por eletrocoagulação

Cristina Benincá[1], Dyerônimo da Silva Santos[2], Joselaine dos Santos Dias[3], Márcia Victória Silveira4

[1] *Universidade Federal do Rio Grande (cristinabeninca8@gmail.com)*
[2] *Universidade Federal do Rio Grande (dyerosantos@gmail.com)*
[3] *Universidade Federal do Rio Grande (jousidias@hotmail.com)*
[4] *Universidade Federal do Rio Grande (marciavictoria.furg@gmail.com)*

Resumo: Efluentes industriais contendo corantes sintéticos, quando descartados sem tratamento prévio podem acabar contaminando lençóis freáticos, águas superficiais usadas para consumo humano, irrigação e dessedentação animal. A fim de diminuir os impactos ambientais ocasionados por descarte de efluentes contendo corantes sintéticos, em particular o Ponceau 4R, o presente trabalho visou a aplicação do método de eletrocoagulação utilizando eletrodos de ferro para remoção deste corante azoico. A técnica eletroquímica de eletrocoagulação se destaca por ser de fácil operação, controle e manutenção, assim como possuir eficiência energética e ser uma técnica segura. Foi utilizada uma solução sintética preparada com água destilada contendo 25,5 mg/L de corante. Nos ensaios de eletrocoagulação foram avaliados os efeitos da presença de oxigênio e de eletrólito cloreto de sódio, através de um planejamento experimental 2^2. A remoção do corante foi avaliada por espectrofotometria. O processo de eletrocoagulação utilizando eletrólito suporte de NaCl 1 g/L, em pH inicial de 5,6, corrente 0,1 A e tensão 2,6 V, apresentou uma eficiência de remoção de cor de 99,83% após 15 minutos de experimento, remetendo assim ao consumo ótimo de energia de 0,065 Wh. Embora as demais condições estudadas tenham atingido eficiência de descoloração, faz-se necessários estudos posteriores a fim de investigar a influência em realizar ajuste prévio de pH inicial da solução contendo o corante. Em um âmbito geral, este estudo demonstrou o quão eficiente é a utilização de ferro e eletrólito suporte combinados com a técnica de eletrocoagulação para tratamento de corantes azoicos.

Palavras-chave: Eletrocoagulação. Tratamento de Efluentes. Corantes Azo.

Removal of ponceau 4R food dye by electrocoagulation

Abstract: Industrial effluents containing dyes, when discarded without prior treatment, may end up being leached into groundwater, contaminating surface water used for human consumption, irrigation and animal watering. In order to reduce the environmental impacts caused by the disposal of effluents containing synthetic dyes, in particular Ponceau 4R, this work aimed to apply the electrocoagulation method using iron electrodes as an alternative to remove this azo dye. The electrochemical electrocoagulation technique stands out because it is easy to operate, control and maintain, as well as being energy

efficient and a safe technique. A synthetic solution prepared with distilled water containing 25,5 mg/L of dye was used. In the electrocoagulation assays, the effects of the presence of oxygen and sodium chloride electrolyte were evaluated, through a 2^2 experimental design. Dye removal was evaluated by spectrophotometry. The electrocoagulation process using 1 g/L NaCl support electrolyte, initial pH of 5.,6, current 0.1 A and voltage 2.6 V, showed a color removal efficiency of 99.83% after 15 minutes of experiment, thus referring to the optimal consumption of energy (0.065 Wh). Although the other conditions have achieved discoloration efficiency, further studies are needed in order to investigate the influence of performing a previous adjustment of the initial pH of the solution containing the dye. In general terms, this study demonstrated how efficient the use of iron and supporting electrolyte combined with the electrocoagulation technique is for the treatment of azo dyes.

Key words: Electrocoagulation. Effluent Treatment. Azo Dye.

Introdução

Os corantes sintéticos possuem características de manter sua coloração mesmo após serem expostos à luz, ou entrar em contato com a água ou diversas substâncias químicas incluindo agentes oxidantes, além disso, são substâncias recalcitrantes (Chequer *et al.*, 2011). Dentre todos os corantes sintéticos produzidos, destacam-se os corantes azo, os quais representam mais de 70% do total de corantes produzidos mundialmente (Thiam *et al.*, 2015).

Corantes azo são substâncias sintéticas que contêm um grupo azo (-N=N-) como parte da estrutura (Thomas, 2016). O corante ponceau 4R é muito utilizado pela indústria alimentícia devido seu baixo custo, sua estabilidade, por ser de fácil dissolução e por ser muito eficiente ao colorir os alimentos. No Brasil o seu uso é permitido nos alimentos, embora não exista um limite de quantidade especificada para cada alimento. Em alguns países da América do Norte e da Europa, o seu uso é restrito por não se ter determinado os valores próprios para consumo (Thiam *et al.*, 2015; Rodrigues, 2021).

Estes corantes, quando presentes nos corpos d'água, impedem a penetração do sol, prejudicando a fotossíntese, degradam a qualidade estética, elevando a demanda química e bioquímica de oxigênio (Al-Tohamy *et al.*, 2022). Mas o maior problema ambiental causado pelos corantes em corpos hídricos não é a cor que eles conferem à água, mas sim os compostos derivados dele que são de natureza xenobiótica e recalcitrantes a biodegradação (Erkurt, 2010).

Diferentes técnicas já foram utilizadas para tratamento de efluentes contendo o ponceau 4R, como o processo de oxidação avançado como ozonização, Fenton, fotoeletro-Fenton, fotocatálise e adsorção (Hafaiedh; Bellkhal, 2016; Benincá, 2012).

Nos últimos anos a eletrocoagulação vem se mostrando uma técnica eficaz para tratamento de efluentes contendo corantes. Utilizando na maior parte das vezes ânodos de ferro ou alumínio, esse processo eletroquímico vem superando as desvantagens de outras técnicas convencionais por ser de fácil execução e com custos relativamente baixos o que a torna muito atrativa. Por exemplo, eficiência da eletrocoagulação na remoção do ponceau 4R de efluente de indústria de corante alimentício, utilizando eletrodos de ferro, alcançou mais de 94% em 39 minutos de tratamento em estudo realizado por Byoud e colaboradores (2017).

Com o acima exposto, o presente trabalho apresenta a aplicação da técnica de eletrocoagulação como tratamento na remoção do corante azoico ponceau 4R, em solução sintética.

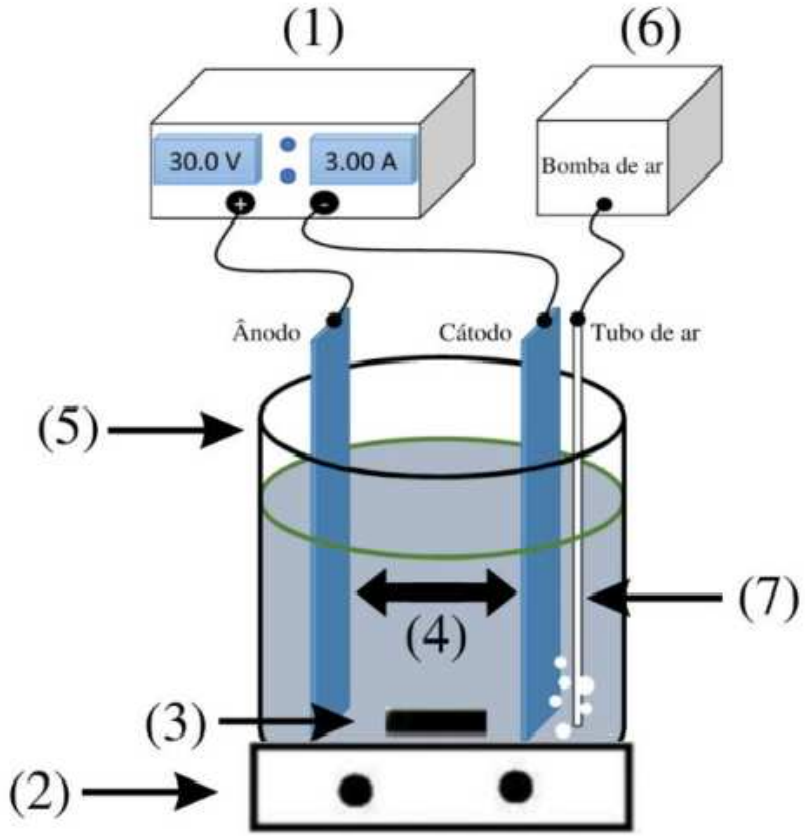
Materiais e métodos

Em todos os experimentos foi utilizada uma solução sintética contendo 25,5 mg/L de corante Ponceau 4R e o monitoramento de descoloração da solução sintética durante o processo de eletrocoagulação foi realizado através da obtenção dos espectros de absorção UV-VIS no comprimento de onda de 508 nm. Para obter as concentrações do corante na solução nos diferentes intervalos de tempos de coleta feitos durante a eletrocoagulação, uma curva analítica foi construída a partir de uma concentração inicial de 25,5 mg/L de corante. A partir desta solução as concentrações de 20 mg/L, 15 mg/L, 10 mg/L, 5 mg/L e 2 mg/L foram preparadas.

Todas as amostras foram filtradas em filtro de acetato de celulose de 0,45 μm. Um planejamento fatorial 2^2 foi realizado para investigar a influência de adicionar ou não eletrólito (1 g/L de NaCl) e de aplicar ou não oxigênio (vazão de 3,2 L/min de ar atmosférico, saturando a solução com O_2) nos ensaios, como fator determinante do poder oxidativo sobre a estrutura do corante Ponceau 4R. O volume de solução contendo o corante foi de 250 mL, colocado em um reator de vidro encamisado para controle da temperatura em 25 °C durante os ensaios. Além disso, uma barra magnética manteve o sistema homogêneo durante os ensaios.

Foi utilizado um par de eletrodos de ferro, distantes 1 cm, recebendo corrente contínua de uma fonte de alimentação. O aparato utilizado nos experimentos está ilustrado na Figura 1. Ao final de cada processo, o consumo de energia elétrica (Wh) relativo ao período de eletrocoagulação (30 minutos) foi calculado conforme a equação P= i x V x 0,5, sendo i corrente elétrica, dada em Ampere e V a tensão elétrica.

Figura 1 –Aparato para os ensaios de eletrocoagulação: fonte de alimentação (1), agitador magnético (2), barra magnética (3), eletrodos (4), reator eletrolítico (5), bomba de aeração (6), difusor (7).



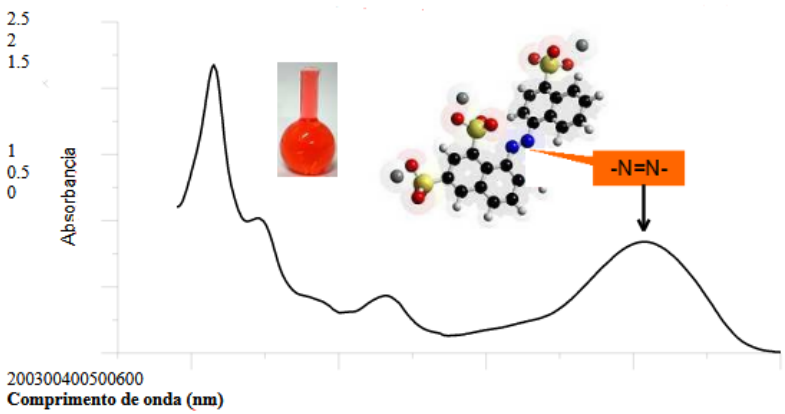
Resultados e discussões

Na Figura 2 é apresentado o espectro de absorbância que define o comprimento de absorbância máxima do Ponceau 4R (508 nm), e a partir dele foi possível obter a curva de calibração da solução sintética.

Os testes realizados com eletrocoagulação da solução sintética demonstraram que o corante sofre descoloração devido ao grupo cromóforo azo (-N=N-) ser um aceptor de elétrons que é liberado pelo processo de oxidação anódica (Luba *et al.*, 2020). Na Tabela 1 percebe-se, pelo conjunto de dados referentes aos ensaios, que houve um aumento expressivo no percentual de descoloração principalmente quando utilizado o eletrólito suporte e na ausência da aeração no sistema de reação contendo a solução sintética, em relação aos demais experimentos. Os ensaios nos quais foram aplicados aeração no sistema eletrolítico, se mostraram menos eficientes na descoloração da solução de trabalho.

Um dos parâmetros do processo, o qual não foi ajustado no início dos tratamentos, foi o pH. Este parâmetro, em vários estudos de tratamento de efluentes ou de solução sintética normalmente é alterado para melhor conduzir o processo para obter alta eficiência de remoção de poluentes. No presente trabalho, embora tenha sido trabalhado sem ajuste do pH, todos os testes realizados foram satisfatórios na remoção do corante. Pelo menos 3 dos 4 ensaios tiveram eficiência de remoção superior a 79%. A não alteração do pH antes do tratamento apresenta-se como um benefício, já que não há necessidade de adicionar produto químico para tal, economizando custos do processo e evitando manipulação de reagentes químicos.

Figura 2 – Espectro de absorção UV-Vis da solução sintética de corante Ponceau 4R.



Fonte: autores (2025)

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de eletrocoagulação por 30 minutos, usando eletrodo de ferro, efluente sintético com 25,5 mg/L de corante Ponceau 4R, pH inicial de 5,6, NaCl (1 g/L) e aeração (3,2 L/min)

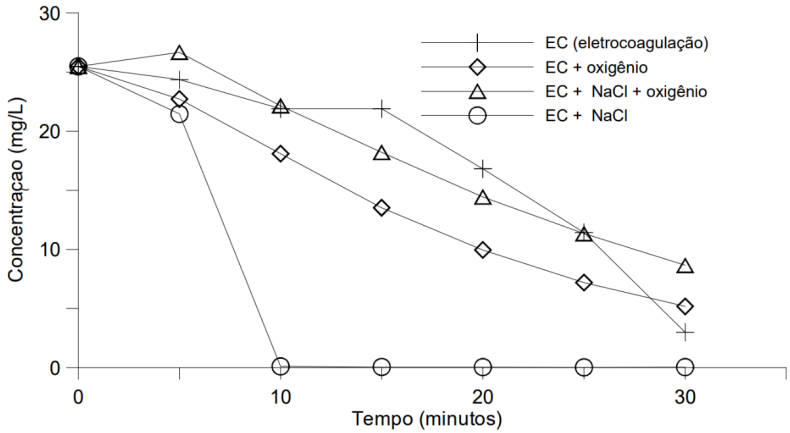
Ensaios	Variáveis		pH final	Descoloração (%)	Consumo (Wh)	Tensão (V)	Corrente (mA)
	Eletrólito (NaCl)	Aeração (O_2)					
1	-	-	6,83	88,30	0,319	31,9	20
2	-	•	6,15	79,70	0,657	31,9	41
3	•	•	6,06	66,03	0,124	2,47	100
4	•	-	8,74	99,83	0,130	2,60	100

Fonte: autores (2025)

Nos ensaios (3 e 4) com adição de eletrólito obteve-se menor consumo de energia elétrica devido ao aumento da condutividade elétrica na solução de trabalho. A resistência ôhmica de qualquer solução aquosa diminui com o aumento da condutividade eletrolítica. O fator da condutividade é determinante para diminuir o tempo de necessário de tratamento para remoção do poluente, sendo assim contribui com a economia de energia elétrica (Fayad, 2017).

O experimento de eletrocoagulação que apresentou o melhor resultado de descoloração foi na presença de 1 g/L eletrólito, sem adição de aeração, o qual apresentou 99,83% de descoloração, sendo que em apenas 10 minutos de reação praticamente já não existia presença de corante na solução aquosa, remetendo a um consumo de 0,065 Wh, enquanto os demais ensaios foram conduzidos durante 30 minutos e não atingiram a mesma eficácia de tratamento de descoloração da solução. Este comportamento pode ser visto na Figura 3, que traz os perfis de queda de concentração de corante de todos os ensaios.

Figura 3 – Comparação do decréscimo de concentração de corante da solução inicial contendo 25,5 mg/L de corante Ponceau 4R, pH inicial 5,6.



Fonte: autores (2025)

Em estudo realizado por Keyikoglu *et al.* (2019), a fim de investigar efeitos de vários eletrólitos suporte no tratamento de uma solução contendo corante pelo processo de eletrocoagulação, NaCl foi referido como o eletrólito mais eficaz. A solução de corante sintético continha uma concentração inicial de 50 mg/L, pH inicial 6,5 e densidade de corrente de 2,08 A/m². O volume da solução eletrolítica no reator foi de 500 mL e a concentração do eletrólito de suporte NaCl 1 g/L. Em apenas 12,5 minutos de tratamento foi atingido um percentual de 98,8% de descoloração do corante Reactive Black 5 (RB5), corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Conclusão

Foi possível avaliar neste trabalho a aplicabilidade do processo de eletrocoagulação na descoloração do corante Ponceau 4R contido em solução sintética em escala de bancada, tal como comparar seu comportamento em diferentes condições. Em todas as condições operacionais estudadas foi possível atingir a descoloração do poluente em 30 minutos de ensaio. Todavia o processo utilizando eletrólito de suporte NaCl 1 g/L, sem injeção de ar (O2), foi o que alcançou maior percentual de descoloração (99,83%) e também de custo energético (0,065Wh) visto que nos primeiros 15 minutos de reação a concentração de Ponceau 4R era próxima de zero, com uma corrente fixada em 100 mA e tensão média de 2,60V. Esse estudo pode servir de base para o aprofundamento da

pesquisa envolvendo a eletrocoagulação, principalmente nas questões dos ajustes dos parâmetros do processo, para atingir os valores ótimos de remoção deste corante sintético.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** Informação e documentação – referências – elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** Informação e documentação – citações em documentos – apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023.

BRASIL. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito EstuFa no Brasil – 6ª Edição. 2022. Disponívelem:https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o- mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf. Acesso em: 01 nov. 2024.

CORBETT, E.S., LYNCH, J.A . Management of streamside zones on municipal watersheds. In: **Riparian ecosystems and their management** . USDA Forest Service general Technical Report RM-120, p.187-190, 1985.

MACHADO, R. E. Simulação de Escoamento e Produção de Sedimentos em Uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento, Tese de Doutorado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002, 126p.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. **Geoprocessamento em recursos hídricos:** princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 533 p.

MOSCHINI, L. E. Diagnóstico e riscos ambientais relacionados à fragmentação de áreas naturais e semi-naturais da paisagem. Estudo de caso: município de Araraquara – SP. 2005. 74 f. Dissertação Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

OLIVEIRA, P.A.V.; *et al*. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos:** Documento 27. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. A de; NONES, K. Produção de Suínos e Meio Ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9, 2001, Gramado, **Anais** ... RS: 2001, p. 8-24.

PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; NEWTON, M. *et al*. “Water Resources: Agricultural and Environmental Issues”. **Bioscience**, v. 54, n. 10, Outubro de 2004, pg. 909-918.

Implantação do BIM em concessionária de saneamento: Um estudo de caso na região da fronteira do RS

Camila Escaramusa Vaz[1], Dr.ª Alcione Aparecida Almeida Alves[2], Dr.ª Aline Raquel Müller Tones[3]
[1] *Universidade Federal da Fronteira Sul /camilaescaramusa@gmail.com*
[2] *Universidade Federal da Fronteira Sul /alcione.almeida@uffs.edu.br*
[3] *Universidade Federal da Fronteira Sul/aline.tones@uffs.edu.br*

Resumo: A implementação do saneamento básico no Brasil tem promovido melhorias na saúde e bem-estar da população. A Lei nº 14.026/2020 estabeleceu metas para universalizar os serviços de saneamento até 2033. A meta inclui 99% de cobertura de água potável e 90% de coleta e tratamento de esgoto. Para alcançar as metas, é essencial adotar novas tecnologias, como o *Building Information Modeling* (BIM), que aprimora a execução de projetos, previne falhas e reduz custos. O estudo tem como objetivo analisar a introdução do BIM em uma concessionária de saneamento no município de São Borja, no Rio Grande do Sul, e investigar os métodos executivos nas obras de esgotamento sanitário. A pesquisa foi baseada em análise documental, e focou em três bacias do município de São Borja, que pertencente à superintendência da fronteira da Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan). O período de coleta de dados abrangeu os anos entre 2019-2024, permitindo avaliar a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental da aplicação do BIM. Até 2024, o BIM foi utilizado nos projetos das estações de bombeamento, enquanto o método não destrutivo (MND) foi aplicado de forma pontual em travessias de córregos entre 2019 e 2023. A partir de 2024, o MND começou a ser implementado nas redes coletoras. A pesquisa ainda está em andamento e busca identificar os desafios da implementação do BIM e os benefícios dessa tecnologia para as obras de saneamento.

Palavras-chave: Modelagem da informação da construção, Saneamento Básico, Redes de esgoto.

BIM implementation in a sanitation concessionaire: A case study in the border region of RS

Abstract: The implementation of basic sanitation in Brazil has promoted improvements in the health and well-being of the population. Law No. 14,026/2020 established goals to universalize sanitation services by 2033. The goal includes 99% coverage of drinking water and 90% of sewage collection and treatment. To achieve goals, it is essential to adopt new technologies, such as Building Information Modeling (BIM), which improves project execution,

prevents failures and reduces costs. The study aims to analyze the introduction of BIM in a sanitation concessionaire in the municipality of São Borja, in Rio Grande do Sul, and investigate the executive methods in sewage works. The research was based on documentary analysis, and focused on three basins in the municipality of São Borja, which belongs to the border superintendency of Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan). The data collection period covered the years between 2019-2024, allowing us to evaluate the technical, economic, social and environmental feasibility of applying BIM. Until 2024, BIM was used in pumping station projects, while the non-destructive method (MND) was applied occasionally in stream crossings between 2019 and 2023. From 2024, MND began to be implemented in collection networks. The research is still ongoing and seeks to identify the challenges of implementing BIM and the benefits of this technology for sanitation works.

Key words: construction information modeling, Basic Sanitation, sewage networks.

Introdução

O saneamento básico compreende serviços públicos essenciais como abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e gestão de águas pluviais urbanas, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 14.026/2020. A implementação adequada desses serviços resulta em melhorias significativas nas condições de saúde, higiene e qualidade de vida da população. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNISA, 2023) referentes a 2022 indicam que 84,9% dos brasileiros têm acesso à rede de abastecimento de água, enquanto apenas 56% contam com coleta de esgoto.

A Lei Federal nº 14.026/2020, que atualizou o marco legal do saneamento básico, modificou dispositivos da Lei nº 9.984/2000 e estabeleceu metas ambiciosas de universalização: até 31 de dezembro de 2033, 99% da população deverá ter acesso à água potável e 90% a sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Para alcançar esses objetivos, é fundamental aprimorar as técnicas e metodologias aplicadas na elaboração de projetos e execução de obras, adotando processos construtivos mais eficientes. Nesse contexto, destaca-se a metodologia BIM (Building Information Modeling), que surge como uma ferramenta estratégica para otimizar a gestão de projetos e obras.

Visando modernizar do setor da construção civil, o Governo Federal instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR) por meio do Decreto nº 9.983/2019 (Brasil, 2019). Posteriormente, o Decreto Federal nº 10.306/2020 tornou obrigatório o

uso do BIM em obras e serviços de engenharia realizados pela administração pública federal, seja de forma direta ou indireta (Brasil, 2020).

No entanto, conforme destacado por Tavares e Castro (2024), o setor de saneamento apresenta um atraso significativo na adoção do BIM quando comparado a outros segmentos da construção civil. Em projetos de saneamento básico que englobam redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o BIM pode ser empregado para identificar e resolver interferências entre sistemas subterrâneos, os quais frequentemente compartilham o mesmo espaço sob a via pública. Segundo Rodrigues, Motta e Obraczka (2020), as redes coletoras de esgoto são tradicionalmente instaladas por meio do método destrutivo (MD), que utiliza valas abertas e gera transtornos urbanos. Como alternativa, o método não destrutivo (MND) permite a instalação de tubulações subterrâneas sem abertura de valas, minimizando impactos (Chehab e Moore, 2010; Yan *et al.*, 2018).

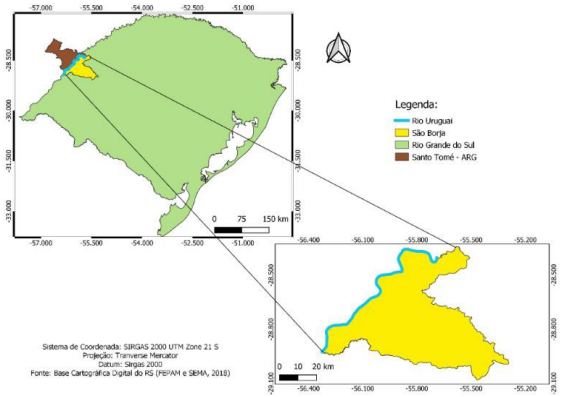
A introdução de tecnologias inovadoras, como o BIM e o MND, representa uma abordagem que alia eficiência, redução de custos e sustentabilidade, contribuindo para uma gestão de projetos mais eficaz. Esses avanços tecnológicos não apenas minimizam os impactos negativos nas comunidades durante a execução das obras, mas também comprovam sua eficiência na fase operacional e no desempenho das estruturas construídas (Alsehaimi *et al.*, 2024; Torrecilha *et al.*, 2024).

Assim, o referido estudo teve como objetivo analisar a implementação do BIM em uma concessionária de saneamento sob a ótica de identificar os métodos executivos MD e MND, bem como o tempo de execução destes em obras de esgotamento sanitário realizadas no município de São Borja (RS).

Materiais e Métodos

O município de São Borja, localizado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, limita-se territorialmente com Santo Tomé (Argentina). Com extensão de 3.616,690 km² e população de 59.676 habitantes (IBGE, 2022), apresenta PIB per capita de R$ 43.012,23, integrando a área de atuação da Superintendência Regional Fronteira (SURFRO) da Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan). Na Figura 1 é apresentada a localização do município de São Borja no Rio Grande do Sul.

Figura 1 – Localização do município de São Borja-RS.

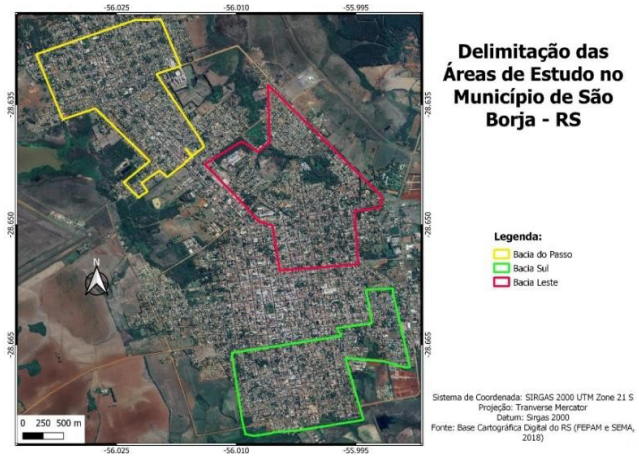


Fonte: autoras (2025).

Esta pesquisa caracteriza-se como documental, com abordagem de estudo de caso centrado no Departamento de Engenharia da SURFRO da (Corsan), órgão responsável pelos projetos de expansão do sistema de esgotamento sanitário na região. Os dados foram coletados entre janeiro de 2019 e dezembro de 2024.

O presente estudo foi conduzido no período de 2020 a 2025 e foi desenvolvido em três bacias hidrográficas do município de São Borja-RS, que serão definidas como áreas de estudo no município de São Borja-RS (Figura 2).

Figura 2 – Delimitação da área de município de São Borja – RS.



Fonte: adaptado de Corsan (2025).

Cada bacia hidrográfica apresenta características peculiares quanto à topografia, densidade populacional, infraestrutura existente e desafios operacionais. Esses fatores exigem uma análise individualizada para a correta implementação da metodologia BIM em obras de saneamento. Tais particularidades influenciam diretamente na seleção das estratégias de modelagem e na definição dos métodos executivos mais adequados.

Para a realização deste estudo, foram analisados projetos de saneamento básico (redes coletoras e estações elevatórias de esgoto) executados entre 2019 a 2024, com o objetivo de identificar os softwares utilizados na elaboração dos projetos, bem como os métodos de execução utilizados nas bacias da área de estudo (Método Destrutivo – MD e Método Não Destrutivo – MND). A análise baseou-se na documentação técnica dos projetos e em consultas às equipes executoras para complementação das informações.

Resultados e discussão

A análise comparativa das três bacias estudadas permitiu identificar os elementos de projeto, como: Objetivos, Softwares utilizados na execução dos projetos na rede coletora; Softwares utilizados na execução dos projetos das estações elevatórias de esgoto e o método de execução da obra de cada área (MD e MND), conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise comparativa entre os projetos das áreas de estudo.

Projeto	Objetivos	Softwares utilizados na execução dos projetos na rede coletora	Softwares utilizados na execução dos projetos das estações elevatórias de esgoto	Método de execução da obra
Bacia Sul	41 Km de rede Coletora; 3.121 ligações prediais; 3 estações elevatórias de esgoto: 4, 5 e 6.	Autocad	Autocad	Método destrutivo (MD) e Método não destrutivo (MND), previsto apenas para a travessia

Bacia Passo e Várzea	8 Km de rede Coletora; 800 ligações prediais; 3 estações elevatórias de esgoto: 1, 2 e 3.	Autocad	Revit (BIM)	Método destrutivo
Bacia Leste	40 Km de rede Coletora 3.200 ligações prediais 3 estações elevatórias EEE 7, 8 e 9.	Autocad	Revit (BIM)	Método não destrutivo

Fonte: autoras (2025).

Conforme evidenciado no Quadro 1, observa-se que a concessionária vem adotando a metodologia BIM de forma gradual em seus projetos, iniciando pela aplicação em estações de bombeamento em 2024.

Esta abordagem está de acordo com os estudos de Barbosa (2017) e Santos *et al.* (2021), que identificaram o uso do BIM predominantemente em estruturas complexas como estações de tratamento de esgoto (ETE), estações de tratamento de água (ETA) e estações elevatórias, sendo pouco utilizado na elaboração de projetos de redes coletoras de esgoto e abastecimento de água.

Com relação aos métodos executivos, observou-se uma introdução significativa na aplicação do Método Não Destrutivo (MND). Enquanto no período de 2019 a 2023 sua utilização se limitava a casos específicos como travessias de córregos, em 2024 o MND passou a ser empregado na implantação de redes coletoras no município, representando um avanço tecnológico no setor de saneamento.

De acordo com Torrecilha *et al.* (2024), a adoção do MND em redes de esgoto e água exige planejamento estratégico, envolvendo avaliações preliminares do solo e da infraestrutura, além da análise de características geotécnicas como coesão e granulometria.

Como principal vantagem, o MND permite a instalação de tubulações com cortes mínimos ou inexistentes na superfície, reduzindo significativamente interferências no tráfego, atividades comerciais e rotinas locais (Dezotti, 2008). Um exemplo dessa aplicação ocorreu

na Bacia Leste, onde as redes coletoras foram instaladas nas calçadas, conectando os ramais prediais aos Tubos de Inspeção de Limpeza (TIL) sem necessidade de remoção do pavimento. Essa solução criou um sistema de rede coletora dupla, capaz de receber efluentes de ambos os lados da via.

Os benefícios do MND são comprovadamente superiores aos do MD, conforme demonstrado por Cintra, Roehl e Sánchez Filho (2020). Segundo os autores a técnica reduz consideravelmente a remoção de solo, pavimento e a geração de resíduos.

Para avaliação comparativa de desempenho, foram analisados os tempos de execução completos, abrangendo desde a instalação das redes até a recomposição final do pavimento. Os resultados desta análise, que contemplou dois tipos de pavimentação, encontram-se detalhados nas Tabelas 1 e 2, fornecendo elementos técnicos para a tomada de decisão entre os métodos MD e MND em futuros projetos.

Tabela 1: Trecho com pavimento de pedra irregular.

Dados	MD	MND
Metragem do trecho (m)	151	253,02
Tempo de execução da rede coletora e ramais (dias)	5	5
Tempo de execução da recomposição do pavimento (dias)	15	0
Total de dias	20	5

Nota: MD-Método destrutivo; MND-Método não destrutivo. Fonte: autoras (2025).

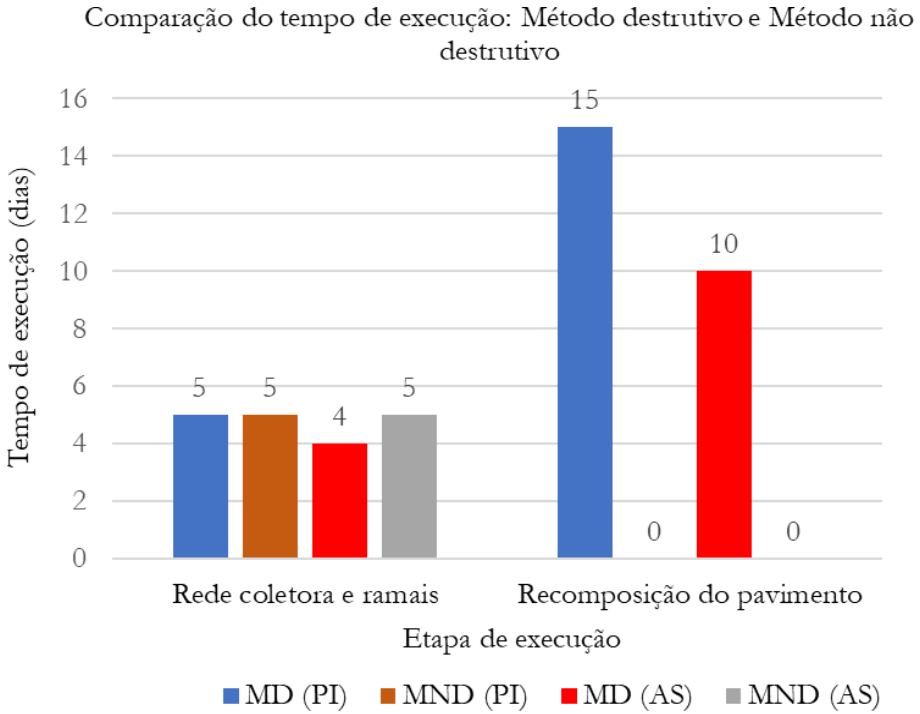
Tabela 2: Trecho com pavimento de asfalto.

Dados	MD	MND
Metragem do trecho (m)	122	222,88
Tempo de execução da rede coletora e ramais (dias)	4	5
Tempo de execução da recomposição do pavimento (dias)	10	0
Total de dias	14	5

Nota: MD-Método destrutivo; MND-Método não destrutivo. Fonte: autoras (2025).

Salienta-se que a metragem no MND se refere ao mesmo trecho que o MD, sendo que, no MND, a metragem é maior devido à execução de rede dupla. No Gráfico 1 é apresentada a comparação do tempo de execução.

Gráfico 1: Comparação do tempo de execução: Método destrutivo (MD) x Método não destrutivo (MND).



Fonte: autoras (2025).

Os resultados demonstram que o MND apresenta vantagens significativas em relação ao tempo de execução, reduzindo em 75% o tempo de execução em vias com pavimento de pedra irregular e 64% em asfalto quando comparado ao MD. Essa diferença decorre principalmente da eliminação da etapa de recomposição do pavimenta no MND, que consome 75-80% do cronograma no MD.

Stanzani e Baptista (2020) demonstram que o MND oferece vantagens significativas em comparação ao MD, destacando-se pela redução no tempo de execução, menor impacto ambiental e mínima interferência nas atividades do entorno da obra, além de diminuir a ocorrência de acidentes. Em um estudo comparativo realizado durante a instalação de um gasoduto em Criciúma (SC), os autores constataram que a obra executada com MND teve uma redução de 50% no tempo de execução, dois dias para o MND e quatro dias para o MD, considerando ainda o tempo adicional necessário para recomposição da vala e restauração do pavimento.

Essa eficiência reforça a viabilidade técnica e operacional do MND em obras de infraestrutura urbana. De forma complementar, Simões *et al.* (2023) identificaram uma superioridade de 30% na velocidade de execução do MND. No entanto, o estudo citado analisou exclusivamente a instalação das redes, enquanto o presente trabalho abrange todas as etapas executivas, incluindo redes coletoras, ramais prediais e recomposição do pavimento, o que justifica as diferenças nos percentuais observados.

A adoção do MND representa um avanço estratégico para as concessionárias, pois responde a desafios cruciais como: a redução das reclamações municipais relacionadas à qualidade da obra; a preservação da infraestrutura viária existente; a minimização de impactos urbanos e custos com restauração de pavimento; o fortalecimento da sustentabilidade urbana; e o aumento da satisfação tanto de gestores públicos quanto da população.

Figueiredo (2023) ressalta que o MND minimiza significativamente os transtornos urbanos, ao reduzir interferências no tráfego, níveis de ruído e emissão de poeira, fatores que contribuem para sua maior aceitação pelas comunidades.

Melo *et al.* (2024) também analisaram que a implementação de soluções não destrutivas reduz impactos ambientais e sociais, graças à sua capacidade de mitigar os efeitos adversos típicos das obras em áreas urbanas complexas. Entre os benefícios estão a diminuição de interrupções no tráfego, da poluição sonora e atmosférica, e dos transtornos à população local, o que se traduz em economia a longo prazo e preservação da imagem das companhias de saneamento.

Segundo Alvarenga *et al.* (2021), o planejamento de uma obra está intrinsecamente ligado aos aspectos de custo, prazo e qualidade. Assim, fatores que afetam o prazo também podem impactar diretamente o custo final.

Nesse contexto, Almeida (2022) comprovou que o MND é capaz de reduzir em até 40% os custos diretos em comparação ao MD, além de minimizar impactos sociais relacionados a transtornos urbanos e interferências no tráfego. Essas vantagens posicionam o MND como uma solução mais econômica, eficiente e sustentável para obras de infraestrutura.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo identificar projetos desenvolvidos em BIM e analisar os métodos executivos utilizados em obras de saneamento básico no município de São Borja. Nas três bacias estudadas, foram encontrados dois projetos em BIM e dois métodos de execução: o Método Destrutivo (MD) e o Método Não Destrutivo (MND).

Neste estudo foi constato que o MND não reduz significativamente o tempo na implantação da rede, mas é extremamente vantajoso na etapa de recomposição do pavimento, trazendo maior eficiência e menos impacto urbano. Tradicionalmente, o MND era aplicado apenas em situações específicas, como travessias de tubulações sob córregos (exemplo: Bacia Sul). No entanto, São Borja-RS, se destaca como pioneira ao adotar o MND em redes coletoras pela concessionária, demonstrando inovação e compromisso com a evolução do saneamento básico.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se avaliar os desafios na implementação do BIM para projetos de redes coletoras; comparar as vantagens e desvantagens do MD e MND, considerando custos, impacto ambiental e identificar como o BIM pode auxiliar na escolha entre MD e MND, otimizando a tomada de decisão em projetos futuros.

Referências

ALSEHAIMI, A; WAQAR A.; ALRASHEED K.; BAGEIS. A. S; ALMUJIBAH. H.; BENJEDDOU, O.; KHAN, A. M. Building a sustainable future: BIM's role in construction, logistics, and supply chain management. In: **Ain Shams Engineering Journal**. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103103. Acesso em out. 2024.

BARBOSA, E. F. (2017). Bim e saneamento – Soluções técnicas para a concepção de estudos e projetos de sistemas lineares de esgotamento sanitário e abastecimento de água. In: Congresso

ALMEIDA, J. S. **Estudo comparativo entre método destrutivo e não destrutivo aplicados em redes de saneamento urbano**. 2022. p. 2-21. Dissertação (Conclusão de curso) Curso de Especialista em Engenharia Consultiva), Faculdade Ari de Sá.

ALVARENGA, F. C.; MAUÉS, L. M. F.; SANTOS JÚNIOR, P. C. dos; MACEDO, A. N Alterações de custo e prazo em obras públicas. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 161-180, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100500. Acesso: abr. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306. Acesso em: ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026/2020**., de 15 de julho de 2020. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: maio 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNISA). Brasília, DF. Ministério das Cidades (2023). Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e programas/saneamento/sinisa. Acesso em: ago. 2024.

CHEHAB, A.G., MOORE, I.D. Parametric study examining the short and long term response of HDPE pipes when installed by horizontal directional drilling(Article). Tunnelling and Underground. In: **Space Technology**. v. 25, ed. 6, 2010, pag. 782-794. Disponível em https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77956170125&origin=inward&txGid=6691555a3e3f9a2ffbb1e79df2be3653. Acessoem:abr 2025.

CINTRA, D.C.; ROEHL, D.M.; SÁNCHEZ FILHO, E.S. O uso de tecnologias não destrutivas na preservação de edifícios históricos. **Perspectiva | Press Releases**, 2020. Disponível em: ttps://pressreleases.scielo.org/blog/2020/06/12/o-uso-de-tecnologias-nao-destrutivas-na-preservaca o-de-edificios-historicos/. Acesso em: abr 2025.

DEZOTTI, M. C. **Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infra-estruturas urbanas subterrâneas**. 2008. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008;

FIGUEIREDO, L. **Introdução aos métodos não-destrutivos**. 2023. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/File/audiencias_inova%C3%A7%C3%A3o/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20aos%20m%C3%A9todos%20n%C3%A3o%20-%20destrutivos.pdf. Acesso em: abr 2025.

MELO. T.C.S.; GODOY, F. P.; SILVA, L. S.; WILLENSHOFER, L. A. Reabilitação de adutoras através da aplicação de tecnologias não destrutivas com foco no método CIPP (tubo curado “in loco”). In: **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v.10, n.10, p. 01-17, 2024. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/73525/51442. Acesso em: out. 2024.

RODRIGUES, P.R.; MOTTA, S, L.; OBRACZKA, M. Comparação de custos de assentamento de redes de esgoto. Revista Departamento de água e esgoto (DAE). In: **Revista DAE**, São Paulo, v. 68, n. 222, pp. 20-35, Ed. Esp. mar. 2020. Disponível em: https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_222_n_1853.pdf. Acesso em: abr. 2025.

SIMÕES, R. P.; BULÇÃO, L. F.; SALES, R. J. M.; SOUSA, D. C. B.; ALMEIDA, A. R. G. Análisecomparativa entre os métodos de execução de sistema convencional e não destrutivo em rede coletora de esgoto. In: Soluções inovadoras em engenharia sanitária e ambiental. Cap.11, p. 136-146. AtenaEditora (2023).Disponível em:

https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/solucoes-inovadoras-em-engenharia-sanitaria-e-ambiental. Acesso em: out.2024.

STANZANI, B. BAPTISTA, C. **Método não destrutivo de instalação de tubulações comparado ao método convencional:** um estudo de caso. Requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil Universidade São Francisco, Bragança Paulista, São Paulo. Disponível em: https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3579.pdf. Acesso em: abr. 2025.

TAVARES, M. B; CASTRO.M.A.H. BIM aplicado à verificação de interferências entre redes de água, esgoto e drenagem. Revista Departamento de água e esgoto (DAE). In: **Revista DAE São Paulo** v. 72, n. 246 p. 01-13 (2024). Disponível em: https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_246_n_2250.pdf. Acesso em: out.2024.

TORRECILHA, E. P.; GONÇALVES, L. R; RAMOS, L. F. A.; CARMO, R. R.; CHAGAS, R. W.; MELARA, J. F. Possíveis aplicações de método não destrutivo (MND) na construção civil: tubulação de rede de água e esgoto. In: **Revista de Gestão e Secretariado –GeSec**, v. 15, n. 10, p. 01-16, (2024). Disponível em: https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4350/2775. Acesso em: out. 2024.

YAN, X., ARIARATNAM, S.T., DONG, S., ZENG, C. Horizontal directional drilling: State-of-the-art review of theory and applications(Article). **Tunnelling and Underground In Space Technology**,v. 72. p. 162-173(2018).Disponívelem https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085034574177&origin=inward&txGid=f455994a564899a9ad7d282b760fe550.Acesso abr. 2025.

Biorremediação de Atrazina por *Saccharomyces cerevisiae* Aplicando o Bioestímulo

Elisete Guimarães[1], Nathalia M. Toller[2], Julio Caetano Tomazoni[3], Elizabeth Martinez Huergo[4], Claudia Dalla Pria Becker[5]

[1] *UTFPR – Campus Francisco Beltrão (guimaraes@utfpr.edu.br)*
[2] *UTFPR – Campus Francisco Beltrão (nathaliatoller@hotmail.com)*
[3] *UTFPR – Campus Francisco Beltrão (caetano@utfpr.edu.br)*
[4] *PROERG – (elizabethmartinezhuergo@gmail.com)*
[5] *UTFPR-Campus Francisco Beltrão (cab_242@hotmail.com)*

Resumo: O herbicida atrazina é amplamente utilizado no controle de plantas daninhas anuais de folhas largas e gramíneas, principalmente em milho, sorgo e cana-de-açúcar. A atrazina é encontrada em solos agrícolas, águas superficiais e subterrâneas, e sua persistência e tempo médio de vida tornam seus efeitos ambientais e ecológicos uma grande preocupação para os seres humanos. Embora sua degradação ocorra naturalmente no solo por fatores abióticos e bióticos, é necessário otimizar técnicas que visem a rápida degradação. O presente estudo teve como objetivo avaliar a degradação da atrazina em um latossolo que recebeu aplicações sucessivas deste herbicida. Os testes foram conduzidos utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, obtida a partir de biomassa residual de levedura da indústria cervejeira e a adição de palha de milho. Os maiores teores de levedura produziram os melhores resultados em relação à produção de CO_2, ou seja, de degradação. A adição de palha de milho teve efeito mais brando, sugerindo que a atrazina teve maior sorção no solo e consequentemente menor biodisponibilidade para biomassa de levedura. Nos primeiros sete dias do experimento, houve redução de mais de 55% nos níveis de concentração de atrazina, chegando a 72% em alguns testes. A espectroscopia de infravermelho médio por transformada de Fourier (FTIR) indicou a mineralização de nitrogênio dos grupos aminas. Os resultados deste estudo demonstraram que a biomassa de levedura associada à palha de milho tem o potencial de estimular a degradação da atrazina no solo.

Palavras-chave: Agrotóxicos, Degradação, Microrganismos.

*Bioremediation of Atrazine by S*accharomyces cerevisiae *Applying Biostimulus*

Abstract: The herbicide atrazine is widely used to control annual broadleaf weeds and grasses, mainly in corn, sorghum and sugar cane. Atrazine is found in agricultural soils, surface water and groundwater, and its persistence and average lifespan make its environmental and ecological effects a major concern for humans. Although its degradation occurs naturally in the soil due to

abiotic and biotic factors, it is necessary to optimize techniques aimed at rapid degradation. The aim of this study was to evaluate the degradation of atrazine in a latosol that has received successive applications of this herbicide. The tests were conducted using the yeast Saccharomyces cerevisiae, obtained from residual yeast biomass from the brewing industry and the addition of corn straw. The aim of this study was to evaluate the degradation of atrazine in a latosol that has received successive applications of this herbicide. The tests were conducted using the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, obtained from residual yeast biomass from the brewing industry and the addition of corn straw. The highest levels of yeast produced the best results in terms of CO_2 production, i.e. degradation. The addition of corn straw had a milder effect, suggesting that atrazine had greater sorption in the soil and consequently lower bioavailability for yeast biomass. In the first seven days of the experiment, there was a reduction of more than 55% in the concentration levels of atrazine, reaching 72% in some tests. Fourier transform mid-infrared spectroscopy (FTIR) indicated nitrogen mineralization of the amine groups. The results of this study showed that yeast biomass associated with corn straw has the potential to stimulate the degradation of atrazine in the soil.

Key words: Agrotoxics, Degradation, Microorganisms

Introdução

Os agrotóxicos são classificados como micropoluentes e têm despertado interesse em relação às alterações ambientais causadas no solo, nos recursos hídricos, na atmosfera, nos alimentos e em organismos vivos. Os impactos ambientais causados pelo uso desses compostos podem ocorrer em consequência da permanência de seus resíduos por mais tempo que o necessário para exercer sua atividade (Toller *et al.*, 2021; Huergo, 2024).

Após serem aplicados no solo, os agroquímicos podem ser totalmente mineralizados ou convertidos em metabólitos através de processos físicos, químicos ou biológicos, dentre estes destaca-se a degradação biológica, onde os microrganismos presentes no solo possuem papel fundamental na biodegradação (Toller *et al.*, 2021).

A atrazina (2-cloro-4-etilamina-6-isopropilamina-s-triazina), é um dos herbicidas da classe das triazinas mais utilizados em função de seu amplo espectro para o controle de ervas daninhas de folhas largas, baixo custo e por apresentar efeito residual no solo (Toller *et al.*, 2021). A degradação microbiana pode ser bastante expressiva para a inativação da atrazina como herbicida, porém seus metabólitos podem persistir por longo tempo no solo (Toller *et al.*, 2021; Huergo, 2024).

A biodegradação da atrazina pode variar de acordo com o tipo de solo, microbiota presente e disponibilidade de nutrientes como carbono e nitrogênio, estando entre os processos mais efetivos de detoxificação dos herbicidas no ambiente.

Repetidas aplicações de um herbicida podem incrementar esta seleção gerando aceleração na sua degradação, reduzindo assim a meia-vida do composto e os efeitos pretendidos. A mineralização de atrazina aumenta com o uso frequente do herbicida, sendo considerada um mecanismo natural de biorremediação (Toller *et al.*, 2021; Huergo, 2024).

Em áreas contaminadas com atrazina, os microrganismos nativos podem adquirir a capacidade de decompor essa molécula (Singh *et al.*, 2017), podendo ser empregada como fonte de carbono e/ou nitrogênio por esses microrganismos, seja por vias metabólicas aeróbicas ou anaeróbicas, tanto no próprio local (in situ) quanto em condições controladas em laboratório (Toller *et al.*, 2021; Huergo, 2024). O metabolismo microbiano representa um dos principais caminhos de degradação para muitos agrotóxicos, sendo que os pouco solúveis e altamente clorados apresentam maior resistência ao ataque microbiano (Singh *et al.*, 2017).

A biorremediação utiliza organismos vivos (microrganismos, fungos, plantas ou enzimas) para degradar ou transformar contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água, sais inorgânicos, biomassa microbiana e outros subprodutos. A vantagem da biorremediação é por ser uma tecnologia limpa, de baixo custo e que se utiliza apenas da capacidade fisiológica de alguns organismos para degradar compostos (Ariole *et al.*, 2015).

Uma maneira de classificar os processos de biorremediação é em função do tipo de modificação que é realizado no ambiente contaminado, podendo haver somente o monitoramento da contaminação (atenuação natural) até a adição de nutrientes (bioestimulação) ou microrganismos (bioaumentação).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um microrganismo aeróbio facultativo mais empregado na produção de cerveja, tendo uma boa tolerância ao estresse osmótico e ao etanol (Toller *et al.*, 2021). Em função de sua estrutura celular e organização funcional, também é um promissor organismo eucariótico unicelular para a avaliação toxicológica de xenobióticos, como herbicidas, por exemplo (Toller

et al., 2021). Optou-se pelo processo de biostímulo, pois a limitação de nutrientes, juntamente com a limitação de oxigênio, pode elevar o tempo da biodegradação do poluente. O objetivo do presente estudo foi avaliar a degradação da atrazina utilizando a levedura Saccharomyces cerevisiae por meio de bioestímulo com a adição de palha de milho.

Material e métodos

Teste de degradação

Para verificar a capacidade de degradação do herbicida atrazina pela levedura Saccharomyces. cerevisiae preparou-se 50,0 mL de meio de cultura líquido para leveduras YW (extrato de levedura 3,0 g, extrato de malte 3,0 g, peptona 5,0 g, glicose 10,0 g, ágar 15,0 g L-1) e 5,0 mL da levedura residual de cervejaria (Fermentis S04). Após o período de incubação, o inóculo foi padronizado pela Escala de Mc Farland nº 0,5, em torno $1{,}5x10^{8}$ células mL^{-1}, na sequência, determinou-se a capacidade de degradação da atrazina pela levedura, avaliando a densidade celular e comparando o crescimento entre as colônias nos meios de cultura com atrazina e com glicose.

Biodegradação da atrazina no solo

A determinação indireta da biodegradação da atrazina foi realizada método da respiração microbiana do solo, conforme Silva *et al.* (2007). A amostra de solo (latossolo) utilizada no estudo, foi coletado logo após a colheita do milho, com histórico de 20 anos de cultivo, e aplicações sucessivas de atrazina. Na amostra de solo adicionou-se atrazina comercial (Atrazina Atanor 50 SC), seguindo a dose recomendada em campo, triplo e cinco vezes a dose recomendada, para 100,0 g de solo. A biomassa de levedura utilizada é do processo de produção de cerveja artesanal, sendo empregada a levedura do fermento comercial Fermentis S04. A palha de milho utilizada foi recolhida da mesma área agrícola da coleta de solo. O planejamento experimental composto rotacional 2^3 com duas repetições no ponto central (Tab.1), foi aplicado para determinar a influência do efeito e interações de diferentes concentrações de atrazina, de palha de milho e de biomassa de levedura na biorremediação no solo.

Tabela 1 – Planejamento experimental 2^3-3 fatores e 2 níveis de variação com duas repetições no ponto central.

Variável		Nível (-1)	Nível (0)	Nível (+1)
Palha de milho (g)		0	0,5	1,0
Levedura (mL)		0	5,0	10,0
Dose de atrazina (µL)		50,0	150,0	250,0
Ensaios	**Palha de milho**		**Variáveis Levedura**	**Dose atrazina**
1	0		0	50,0
2	0		0	250,0
3	0		10,0	50,0
4	0		10,0	250,0
5	1,0		0	50,0
6	1,0		0	250,0
7	1,0		10,0	50,0
8	1,0		10,0	250,0
9	0,5		5,0	150,0
				100,55,0150,0

Fonte: os autores (2025)

Análise elementar (CHN)

A análise da composição elementar (carbono, hidrogênio e nitrogênio), foi realizada a partir de 1,0 mg de amostra por combustão a 1000ºC. As medidas foram realizadas no equipamento Perkin Elmer, modelo 2400 CHN, no laboratório da Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP).

Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

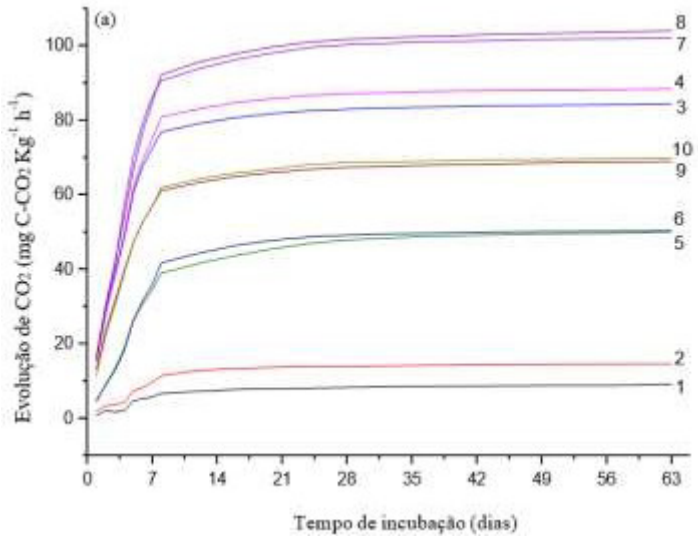
Os espectros de FTIR, foram realizadas em equipamento Perkin-Elmer-modelo Frontier, no laboratório da Central de Análises da UTFPR-Campus Pato Branco. Retirou-se alíquotas no 1º, 7º, 14º e 63º dia de incubação. As medidas foram registradas de 4000 a 400 cm^{-1}, com resolução espectral de 4 cm^{-1}, 64 scans, as pastilhas preparadas com 1 mg de amostra e 99 mg de KBr.

Resultados

Respiração Basal do Solo

O gráfico (Fig. 1) mostra a evolução de gás carbônico (CO_2) acumulado ao longo do experimento. Os ensaios 7 e 8 obtiveram os maiores valores de liberação de CO_2, visto que estes dois tratamentos utilizaram os tores níveis de palha de milho e de levedura. Os ensaios 5 e 6, obtiveram melhor desempenho quando comparados aos ensaios 1 e 2 e pior desempenho quando comparados ensaios 3 e 4. Os ensaios 9 e 10 (ponto central), obtiveram valores intermediários e muito próximos entre si. Os resultados da respiração basal do solo mostraram que, a adição da palha de milho aumentou as taxas de liberação de CO_2 quando associada à inoculação de resíduo de levedura (ensaios 7 e 8).

Figura 2 – Ensaios de respiração basal para solo com aplicação sucessiva de atrazina.



Fonte: os autores (2023).

Composição elementar

O carbono e o nitrogênio são os principais componentes da matéria orgânica do solo e os seus estoques variam em função das taxas de adição de resíduos vegetais e, ou, animais, e de perda, dentre elas, as decorrentes da erosão e da oxidação pelos microrganismos do solo. Os

valores médios da composição elementar estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise elementar dos solos e da palha de milho usados no experimento.

Amostra	% Carbono	% Hidrogênio	% Nitrogênio	H/C	C/N
A	3,76	1,57	0,30	5,011	14,70
B	5,06	1,60	0,31	3,794	19,04
C	42,21	5,73	0,82	1,628	60,05

Fonte: os autores (2025).
Nota: A = Solo com histórico de aplicação de atrazina; B = Solo com histórico de aplicação de atrazina + palha de milho; C = Palha de milho; H/C = razão atômica hidrogênio e carbono; C/N = razão atômica carbono e nitrogênio.

O teor de carbono para a amostra A (3,76%) um pouco acima do que é esperado para um latossolo, pode ser devido ao sistema de cultivo (plantio direto), onde os restos de cultura protegem o solo das reações de oxidação, preservando mais o carbono e, consequentemente, a matéria orgânica. Para a amostra B, (5,06%) o alto teor de carbono, justifica-se em razão de conter o C do solo + C da palha de milho + C da atrazina. A alta razão H/C, para as amostras A e B (3,794 e 5,011), é indicativo da presença de estruturas mais alifáticas. Na amostra C (1,628) é baixa, evidenciando à presença de compostos mais aromáticos, como esperado, devido a composição da palha de milho, que é formada por celulose, hemicelulose e lignina. A relação C/N é importante, pois, controla o balanço entre os processos de mineralização e imobilização de nitrogênio. O maior valor C/N encontrado foi para a amostra 1C (palha de milho), sugerindo a lenta mineralização do nitrogênio.

Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As Figuras de 2 a 6 apresentam os espectros no Infravermelho (FTIR) para os 10 ensaios (Tab.1), após a biodegradação com a levedura Saccharomyces cerevisiae e a adição de palha de milho (bioestímulo).

Com a espectrofotometria no infravermelho também pode-se acompanhar a mineralização do carbono da matéria orgânica em dióxido de carbono (CO_2) e verificar a mineralização do nitrogênio dos grupos aminas (NH_2), quando estes são convertidos em amônia (NH_3).

Os espectros de FTIR, para os 10 ensaios apresentaram comportamento semelhante para alíquotas coletadas no 1º, 7º, 14º e no 60º dia. As inflexões em 3.695 e 3.625 cm^{-1}, são atribuídas ao grupo OH^- de

hidroxilas de argilas (caulinita), já as bandas típicas da gibbsita ocorrem em 3.530 e 3.440 cm^{-1} (TOLLER, 2021).

As bandas tiveram aumento na intensidade de absorção do 1º para o 60º dia, indicando que ocorreu a decomposição da matéria orgânica, permanecendo, apenas a matéria inorgânica.

A banda localizada em 1.640 cm^{-1} é atribuída ao estiramento antissimétrico (nas) de íons carboxilatos (C=O), indicativo da desprotonação do hidrogênio dos grupos carboxílicas (COOH), influenciando no aumento da acidez do solo (pH 5,5) (Toller, *et al.*, 2021).

Os íons carboxilatos (COO^-) são responsáveis pela complexação da matéria orgânica com metais, visto que estes possuem afinidade pelos sítios de carga negativas da matéria orgânica.

Para os 10 ensaios, as bandas (1.000, 916, 800, 690, 540 e 470 cm^{-1}) são absorções características de impurezas minerais (caulinita, gibbsita e goetita) e quartzo. Essas bandas tiveram aumento na intensidade do 1º para o 60º dia de experimento, indicando a decomposição da matéria orgânica pela levedura.

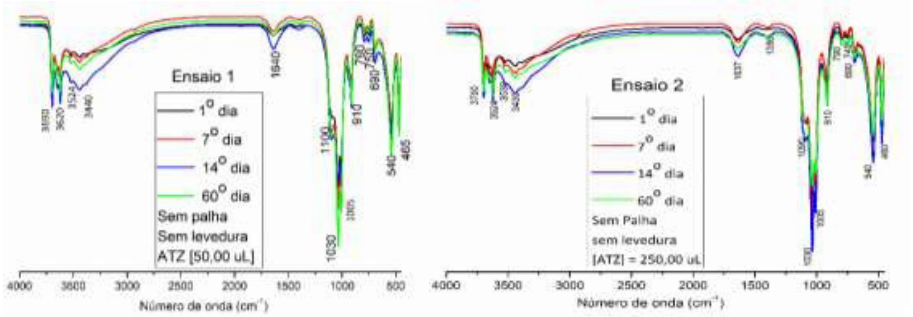
Uma mudança observada na região próxima a 1.030 cm^{-1}, relativa à absorção de C-O de polissacarídeos, cuja banda tende a diminuir de intensidade, quanto mais humificada for a matéria orgânica (TOLLER, *et al.*, 2021).

Em alguns espectros, verifica-se uma pequena absorção em 1.380 cm^{-1}, atribuída aos grupos nitratos (NO_3^-), sugerindo a mineralização do nitrogênio, essas bandas parecem para os ensaios do 60º dia.

Os espectros de FTIR para o ensaio 1 (sem palha, sem levedura, com apenas a dose recomendada de atrazina), tiveram pequena variação na intensidade das bandas, quando se compara as amostras do 1º e 60º dia, e está em concordância com os valores da respiração basal, possivelmente em razão da lenta degradação da atrazina, visto que não há levedura nesse ensaio (Tab. 1).

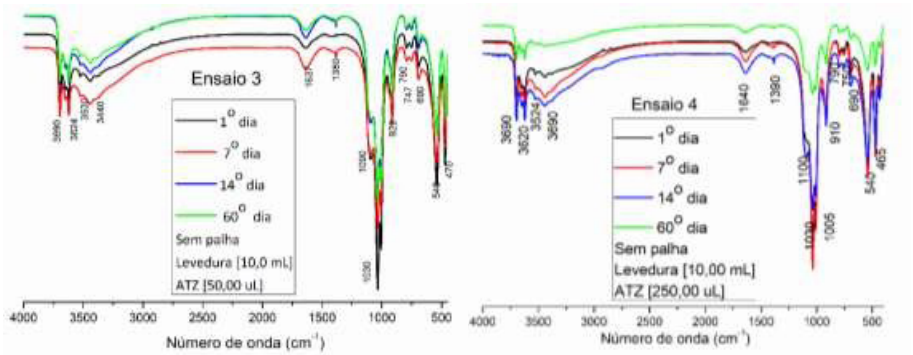
A seguir encontram-se os espectros de FTIR para os 10 ensaios realizados, coletando alíquotas no 1º, 7º 14º e 60º dia dos experimentos.

Figura 2 – Espectros de FTIR (na região de 4.000 – 400cm^{-1}) para os ensaios 1 e 2



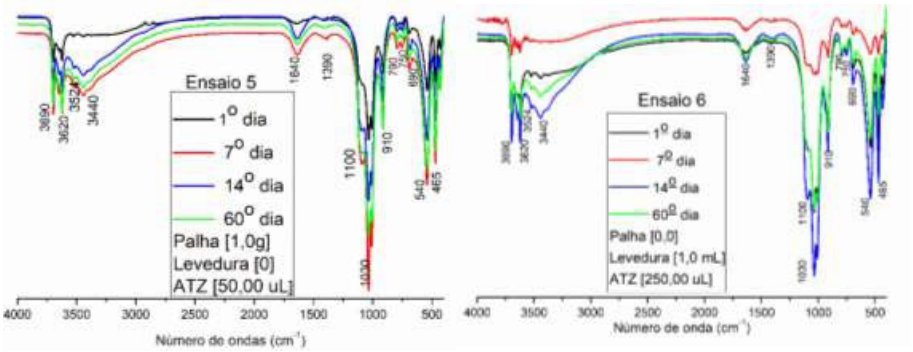
Fonte: os autores (2025)

Figura 3 – Espectros de FTIR (na região de 4.000 – 400cm^{-1}) para os ensaios 3 e 4



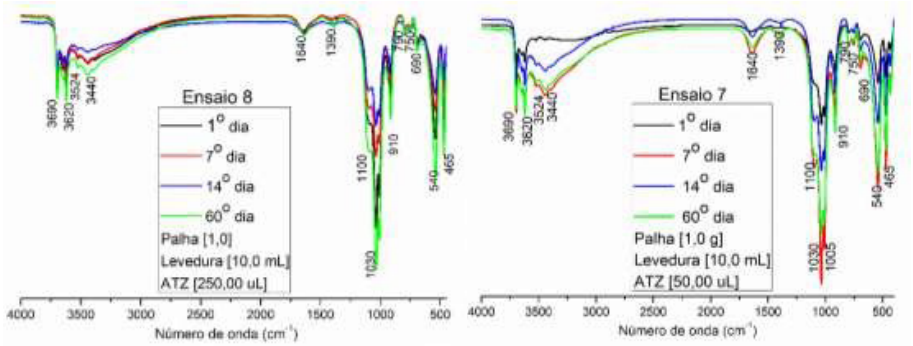
Fonte: os autores (2025)

Figura 4 – Espectros de FTIR (na região de 4.000 – 400cm^{-1}) para os ensaios 5 e 6



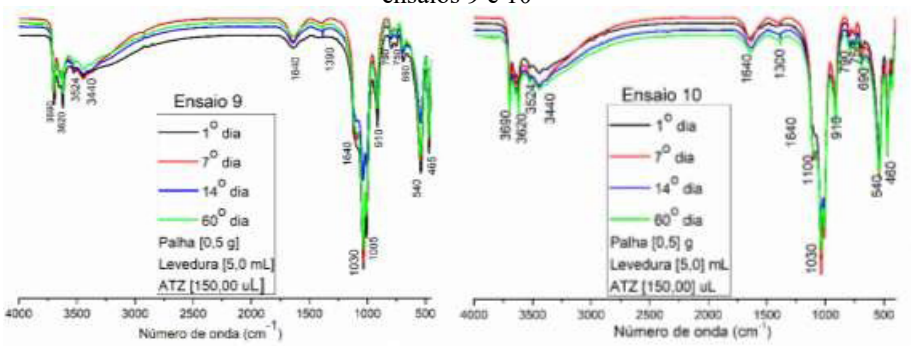
Fonte: os autores (2025)

Figura 5 – Espectros FTIR (na região de 4.000 – 400cm^{-1}) para os ensaios 7 e 8



Fonte: os autores (2025)

Figura 6 – Espectros na região do infravermelho médio (4.000 – 400cm^{-1}) para os ensaios 9 e 10



Fonte: os autores (2025)

Conclusões

No teste de degradação, foi possível verificar que a presença da atrazina não anulou o crescimento da levedura, sendo que essa, assimilou a atrazina, nas duas doses testadas, com e sem glicose. O resultado da respiração basal do solo mostrou que, a adição da palha de milho aumentou as taxas de liberação de CO_2 quando associada ao resíduo de levedura. A maior taxa de degradação da atrazina ocorreu nos ensaios 7 e 8, que apresentavam as maiores quantidades de levedura e palha de milho.

A biodegradação da atrazina pode variar de acordo com o tipo de solo, microbiota presente e disponibilidade de nutrientes como carbono e nitrogênio, estando entre os processos mais efetivos de detoxificação dos herbicidas no ambiente.

Em estudo sobre a degradação da atrazina, Toller *et al.* (2021), observou maior mineralização de atrazina em solo agrícola quando comparado com a solo de vegetação nativa, visto que a aplicação sucessiva do herbicida, permitiu que a microbiota do solo se adaptasse ao metabolismo da atrazina. O estudo indicou que a levedura Saccharomyces cerevisiae apresenta potencial para ser aplicada em processos de biorremediação, assim como o uso da palha de milho para estimular a ação da levedura.

Referências

ARIOLE, C., ABUBAKAR, A. Biodegradation of Atrazine by Bacteria Isolated from Lotic Water. **Journal of Applied Life Sciences International**, v. 2, p. 119-125, 2015.

HUERGO, E. M. **Biodegradação de atrazina por bactéria isolada de solo agrícola.** Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR – Campus Francisco Beltrão, 2024.

SILVA, E. E., AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (gCO2). EMBRAPA-Comunicado Técnico-99. ISSN 1517-8862. Seropédica, RJ, 2007

SINGH, S.; KUMAR, V.; CHAUHAN, A.; DATTA, S.; WANI, A. B.; SINGH, N.; SINGH, J. Toxicidade, degradação e análise do herbicida atrazina. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, n. 1, p. 211 – 237. 2017.

TOLLER, N. GUIMARÃES, E., BRAVO, C. Biodegradação do herbicida atrazina por Saccharomyces cerevisiae. **Eng Sanit Ambient**. v.26 n.4 jul/ago, p.651-65, 2021.

Ozonização integrada como estratégia de tratamento de águas contaminadas em situações de enchentes no Brasil

Letícia Reggiane de Carvalho Costa[1], Cassandra Bonfante de Carvalho[2], Caroline Borges Agustini[3], Liliana Amaral Féris[4]
[1] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (leticiaregicar@hotmail.com)*
[2] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (cassandra.bcarvalho@gmail.com)*
[3] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (carolbagustini@gmail.com)*
[4] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (liliana.feris@gmail.com)*

Resumo: O acúmulo de água provocado por enchentes pode carrear poluentes e resíduos de superfícies contaminadas, representando sérios riscos à saúde da população. Nesse contexto, o tratamento emergencial dessas águas torna-se necessário, e a ozonização destaca-se como uma solução potencial, devido à sua elevada capacidade oxidante. Este trabalho visa estabelecer parâmetros ótimos da integração da ozonização no tratamento convencional de água (etapa de ozonização intermediária) para enfrentar os desafios de enchentes no Brasil. Amostras de água foram coletadas no Arroio Dilúvio em Porto Alegre, RS. Realizou-se um planejamento fatorial por delineamento composto central (CCD) para determinar a influência das variáveis pH, tempo e dosagem de gás na mineralização da matriz, considerando 0,5 L/min de vazão de gás. Observou-se que a integração da ozonização intermediária, a mineralização da matriz atingiu valores de 59,0% (pH 8, 30 minutos; 0,5 L/min). Isso ressalta não apenas a eficácia do processo integrado, mas também seu potencial para otimizar a operação de tratamento mais sustentável. A capacidade do ozônio de promover a mineralização demonstra seu potencial para o tratamento de águas em áreas afetadas, oferecendo além de uma solução robusta e eficiente para desafios ambientais complexos, benefícios substanciais na gestão da qualidade da água no Brasil.

Palavras-chave: Ozonização. Mineralização. Águas contaminadas.

Integrated ozonation as a strategy for treating contaminated waters in flood scenarios in Brazil

Abstract: The accumulation of water caused by floods can carry pollutants and residues from contaminated surfaces, posing significant health risks to the population. In this context, the emergency treatment of such waters becomes essential, with ozonation emerging as a potential solution due to its high oxidative capacity. This study aims to establish optimal parameters for integrating ozonation into conventional water treatment (intermediate ozonation stage) to address flood-related challenges in Brazil. Water samples were collected from the Arroio Diluvio in Porto Alegre, RS. A factorial design based on central

composite design (CCD) was performed to determine the influence of variables such as pH, time, and gas dosage on matrix mineralization, with a gas flow rate of 0.5 L/min. Results showed that intermediate ozonation achieved matrix mineralization levels of 59.0% (pH 8, 30 minutes, 0.5 L/min). This highlights not only the efficacy of the integrated process but also its potential to optimize more sustainable treatment operations. The ability of ozone to enhance mineralization demonstrates its potential for treating water in affected areas, providing a robust and efficient solution for complex environmental challenges and substantial benefits for water quality management in Brazil.

Key words: Ozonation. Mineralization. Contaminated waters.

Introdução

As enchentes, agravadas por urbanização inadequada e mudanças climáticas, têm graves impactos ambientais e à saúde pública (Chaves *et al.*, 2023; Estevão, 2022). No Brasil, chuvas intensas entre abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul superaram recordes históricos, com 539,69 mm registrados em Porto Alegre, representando 478% da média mensal (~112,8 mm) (Silveira, 2020). Cerca de 340 municípios (68,4% do total) foram afetados, declarando estado de calamidade pública ou emergência (Possamai *et al.*, 2024).

As águas contaminadas durante enchentes frequentemente contêm uma combinação complexa de contaminantes, incluindo patógenos biológicos, metais pesados e produtos químicos tóxicos (Bachmann *et al.*, 2021; Farkas *et al.*, 2020). Alguns estudos também indicam a presença de poluentes que incluem matéria orgânica em decomposição e resíduos industriais, agravando ainda mais o potencial de doenças e riscos de contaminação para a população local (Ahmed *et al.*, 2022; Golovko *et al.*, 2021).

O Arroio Dilúvio, localizado na cidade de Porto Alegre, RS, é um exemplo significativo de um corpo d'água que enfrenta problemas de poluição (Costa *et al.*, 2023), também decorrentes de eventos de cheia. Durante esses eventos, o arroio foi inundado com águas pluviais que carregaram uma mistura de contaminantes provenientes de esgoto, resíduos industriais e outros poluentes urbanos. Esse cenário potencializou a contaminação das águas, apresentando sérios riscos à saúde das pessoas que entram em contato com esses recursos hídricos (Ogassawara *et al.*, 2021; Rizzotto *et al.*, 2024).

A gestão de riscos e o tratamento de águas durante e após enchentes é fundamental para minimizar os riscos à saúde pública (Bicoski *et al.*,

2021; Magni, 2023). A ozonização tem se destacado como uma solução potencial para a remoção de compostos devido à sua potente capacidade oxidante, que permite a degradação e mineralização (transformação dos poluentes em CO_2 e H_2O) de uma ampla gama de contaminantes, incluindo bactérias, vírus, produtos químicos tóxicos e poluentes persistentes (Costa *et al.*, 2024; Costa and Féris, 2022; Williams *et al.*, 2019).

Neste contexto, o presente trabalho visa estabelecer parâmetros ótimos para o tratamento emergencial de águas contaminadas, com foco específico na aplicação prática no Brasil. A proposta inclui o tratamento combinado de tecnologias, como a ozonização e o tratamento convencional de água, adaptadas às condições específicas do Arroio Dilúvio e outras situações similares. O objetivo é desenvolver uma solução prática e eficiente para enfrentar os desafios impostos por enchentes e poluição das águas, avaliando a capacidade de mineralização da matriz, sempre atrelado com os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) de: saúde e bem estar (3); água potável e saneamento (6); ação contra a mudança global do clima (13) e, vida na água (14).

Metodologia

Amostragem, pré-tratamento e identificação dos compostos

Amostras de água foram coletadas na Ecobarreira do Arroio Dilúvio, em Porto Alegre – RS (30°02’50.7”S, 51°13’49.4”O) (Figura 1), uma área urbanizada com descarte de efluentes domésticos. A água do Arroio, similar à de enchentes, apresenta altos níveis de contaminantes, turbidez elevada, nutrientes que favorecem algas e microrganismos patogênicos (Costa *et al.*, 2023; de Carvalho Costa and Féris, 2023).

As amostras de água foram transferidas para bombonas esterilizadas de 5 L, filtradas para remoção de particulados (14 μm) e mantidas a 4°C ± 2°C. Testes físico-químicos preliminares foram realizados na matriz real para otimizar o tratamento, avaliando coagulante (25-150 mg/L), floculante (1-5 mg/L), pH (5-9) e tempos de mistura e sedimentação baseados em Costa *et al.* (2020). O objetivo foi determinar a melhor condição operacional para comparação da eficiência de mineralização nos ensaios subsequentes.

Figura 1 – Ponto de amostragem na Ecobarreira Arroio Dilúvio, Porto Alegre – RS (30°02’50.7”Sul e 51°13’49.4”Oeste), Brasil.

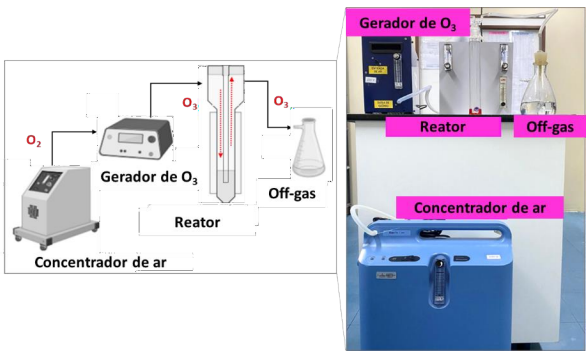


Para identificação dos compostos presentes na água superficial, as amostras foram preparadas utilizando a técnica de extração em fase sólida (EFS) com cartuchos de fase reversa polimérica (Strata-X, Phenomenex) e um sistema Manifold (Supelco). O sistema de detecção e quantificação dos analitos foi realizado utilizando um cromatógrafo líquido de alta eficiência (modelo 1200 Infinity, Agilent). A capacidade de mineralização da amostra foi avaliada através do carbono orgânico total no líquido, utilizando um analisador de carbono da marca Shimadzu (modelo TOC-VCSH).

Procedimento de pré-ozonização

A matriz aquosa foi ozonizada através de um piloto de ozonização (Figura 2) composto por: (a) concentrador de ar oxigênio (marca Philips, modelo Everflo 5Lpm com OPI), (b) aparelho gerador de ozônio operado por descarga de corona (marca DegradaTox/AquaOz, modelo 3.0E), (c) um reator de contato líquido/gás com capacidade de 200 mL (diâmetro de 3,5 cm e altura de 30 cm) (Vidrolab, Brasil) e (d) frasco lavador de gás de 500 mL.

Figura 2 – Esquema representativo e real do sistema de ozonização.



O ozônio foi transferido para a massa líquida em um reator cilíndrico com fluxo de gás de 60 L/h (1,0 g/h de O_3) por meio de um difusor poroso na base da coluna. O gás excedente foi direcionado para uma solução de iodeto de potássio a 2% para lavagem. Após os ensaios, tiossulfato de sódio (0,025 mol/L) neutralizou o ozônio, interrompendo reações adicionais.

Planejamento por composto central (CCD) foi aplicado para avaliar a capacidade de mineralização da matriz. Para a pré-ozonização (Tabela 1), foi realizado um planejamento com 3 fatores (pH (x_1), tempo (x_2) e concentração de coagulante (x_3)) em 5 níveis, contemplando 18 corridas.

Tabela 1 – Matriz de planejamento experimental para pré-ozonização.

Variáveis Independentes	**Níveis**				
	-1,68	Baixo	Central	Alto	+1,68
	(-α)	(-1)	(0)	(+1)	(+α)
x_1: pH	4	6	8	10	Sem ajuste
x_2: tempo (min)	1	5	10	15	30
x_3: coagulante (mg/L)	75	67,5	60	52,5	45

O planejamento de experimentos foi realizado de forma aleatória para minimizar o efeito de variáveis não controladas, e os resultados foram processados com o software STATISTICA 10.0. Pontos centrais foram utilizados para avaliar a reprodutibilidade e o erro experimental. A escolha das variáveis foi estratégica, visando cobrir diferentes condições e otimizar a compreensão dos processos. Um modelo polinomial de segunda ordem foi aplicado para aproximar a relação entre as variáveis independentes.

Nos ensaios de ozonização intermediária com tratamento físico-químico (FQ), foi utilizada uma concentração de 75 mg/L de sulfato de alumínio, 3 mg/L de Mafloc e pH natural (aproximadamente 7,4). Após o FQ, 100 mL da amostra clarificada foram ozonizadas, seguindo as condições do planejamento experimental. Após a ozonização, a amostra foi neutralizada com tiossulfato de sódio, filtrada e encaminhada para análise de mineralização. O tratamento combinado de FQ com ozonização intermediária foi denominado FQO.

Resultados e Discussão

Caracterização inicial da matriz

A matriz do Arroio Diluvio foi submetida à uma caracterização inicial de acordo com os parâmetros físico-químicos pertinentes, e os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2. Os dados foram coletados e registrados durante cada evento de amostragem e os métodos analíticos seguiram os padrões de análise conforme referência.

Tabela 2 – Caracterização inicial da matriz do Arroio Dilúvio, Porto Alegre – RS, Brasil.

Parâmetro*	Matriz Aquosa	Limites pela Legislação**
pH	7,4 ± 0,05	6-8,0
Cor (mgPt-CO/L)	36,0 ± 0,1	15,0
Turbidez (UT)	7,9 ± 0,05	5,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	188,0 ± 0,05	1000,0
Alcalinidade (mg/L of CaCO3)	225,7 ± 0,3	500,0
COT (mgC/L)	40,8 ± 0,2	-

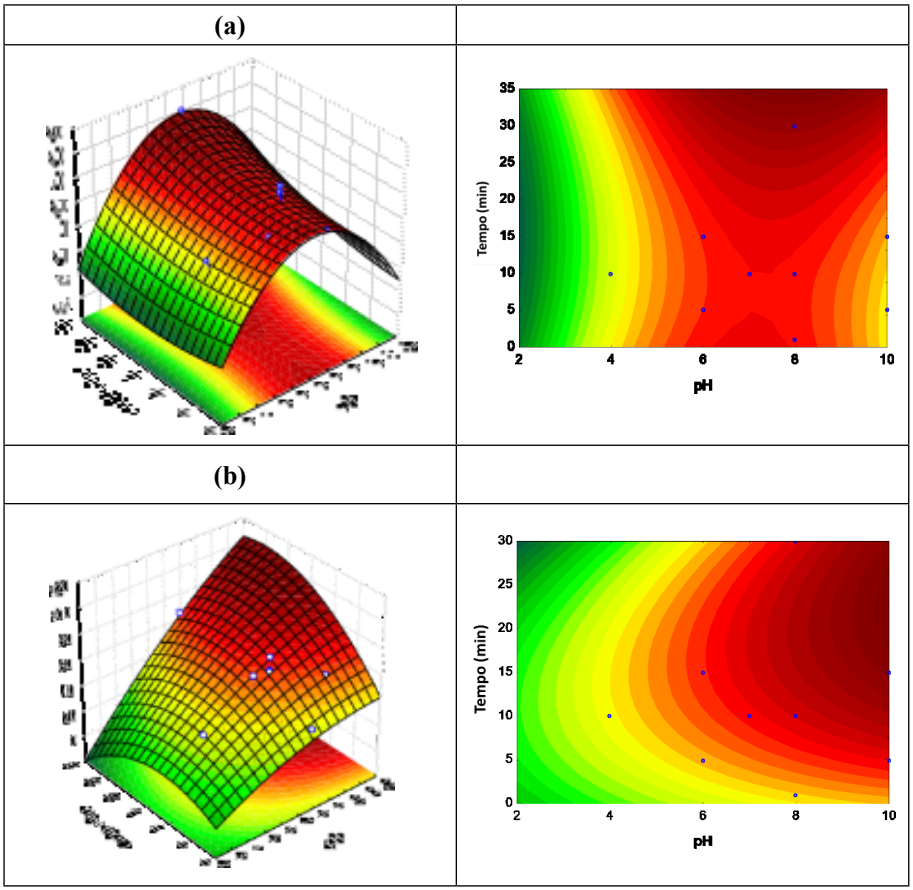
*Os métodos analíticos seguiram os padrões do "Standard Methods for Examining Water and Wastewater" (APHA, 2017). ** Portaria GM/MS Nº888, de 04 de maio de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de setembro de 2017 (Brasil, 2021). Legenda: COT se refere à concentração inicial de carbono orgânico total.

A caracterização inicial da água indicou parâmetros críticos para consumo direto, como turbidez e cor, que excedem os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (turbidez >5 UT e cor >15 mgPt-Co/L). Outros parâmetros, como sólidos totais dissolvidos (1000 mg/L) e alcalinidade (500 mg/L de $CaCO_3$), estavam dentro dos limites legais. A matriz aquosa apresentou um TOC inicial de 40,8 mgC/L, sugerindo que a matéria orgânica e outros compostos podem afetar a eficácia da ozonização devido à competição entre os compostos no ataque do gás.

Efeito das variáveis e Otimização de processo

Os efeitos interativos dos parâmetros independentes durante a mineralização da matriz na ozonização intermediária são demonstrados em gráficos de superfície, na Figura 3(a-b).

Figura 3 – Superfície de resposta estimada para o projeto composto central para mineralização da matriz nos ensaios de FQO.



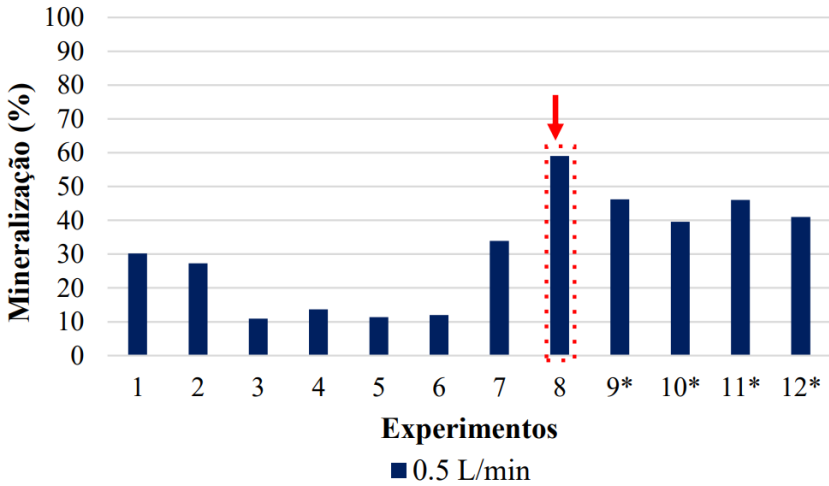
Ao analisar a Figura 3, observa-se que os efeitos das variáveis na resposta de mineralização da matriz apresentam comportamentos antagônicos para as diferentes vazões aplicadas. Nas Figuras 3(a) e 3(b), evidenciam-se os efeitos do pH e do tempo de ozonização nas vazões baixa e alta, respectivamente, no desempenho de mineralização. É notório que o desempenho da mineralização melhora com o aumento do pH no processo de ozonização intermediária, o que potencializa a transferência de massa e aumenta a interação entre o fármaco e o ozônio. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que a maior produção de radicais hidroxilas ocorre nas reações indiretas, em que o pH da solução é alcalino (Camargo-Perea and Rubio-Clemente, 2020; Montoya-Rodríguez *et al.*, 2020). Além disso, é possível observar que

tempos de ozonização mais curtos são suficientes para alcançar uma mineralização eficiente dos fármacos.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para a mineralização da matriz no processo de ozonização intermediária através do delineamento experimental

Para a vazão baixa, foi observado que o ensaio com pH 8 e tempo prolongado de 30 minutos resultou em uma mineralização notável de 59,0% (experimento 8). No entanto, é importante considerar outros fatores para minimizar os custos operacionais do processo. Nos ensaios referentes ao ponto central (9-12), foi observada uma média de mineralização de 46,0% com pH 8 e 10 minutos de operação. Esse resultado destaca a limitação de prolongar o tempo de contato, devido à saturação do sistema e aos custos operacionais elevados.

Figura 4 – Variáveis de resposta do planejamento experimental para a matriz na ozonização intermediária.



Com base nas Figuras 3 e 4, a mineralização máxima dos fármacos é obtida no tempo de ozonização entre 10-15 minutos. Os resultados confirmam que um aumento no pH da solução causa um aumento na remoção dos poluentes. A remoção ótima é alcançada em pH alcalinos, na faixa de 8,0-10,0. Em um pH de solução mais alto, a formação de radicais hidroxila é potencializada, amplificando a interação dos fármacos com os radicais. Além disso, as reações em meio básico apresentam por si só um alto potencial de oxidação e uma rápida cinética de reação (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2020).

É fundamental realizar uma avaliação abrangente da viabilidade econômica e ambiental do processo, considerando os custos associados à produção e à quantidade de ozônio aplicados, além do aumento no consumo energético. Embora a maior mineralização seja observada em algumas condições, é importante monitorar a formação de possíveis subprodutos tóxicos, que podem ser mais prejudiciais do que o composto original. Portanto, é essencial mapear as rotas de degradação, identificar os subprodutos formados e avaliar sua toxicidade.

No geral, a configuração do ozônio no sistema de tratamento pode ser uma estratégia eficaz, dependendo das condições específicas e dos objetivos. A escolha entre as opções deve ser baseada em uma análise completa dos custos operacionais, levando em consideração a concentração de coagulante e a dose de ozônio aplicada. A aplicação do ozônio após o tratamento físico-químico oferece uma abordagem mais robusta, garantindo a remoção adicional de poluentes resistentes e proporcionando uma desinfecção avançada. Dessa forma, é imprescindível realizar uma avaliação detalhada ao escolher a configuração de ozonização, levando em consideração as condições locais, os objetivos do tratamento e as implicações econômicas.

Conclusão

A integração do processo de ozonização com o tratamento convencional de água indicou ser uma abordagem eficaz para enfrentar desafios ambientais complexos, como a contaminação resultante de enchentes. Os resultados obtidos confirmam a sinergia significativa entre a ozonização e os métodos tradicionais de tratamento. A ozonização intermediária alcançou uma mineralização de 59,0% na vazão de gás aplicada (0,5 L/min). As análises demonstraram que variáveis como o pH têm um efeito significativo nas reações, com condições básicas mostrando um elevado potencial de oxidação e contribuindo para uma maior mineralização dos contaminantes. Esses resultados destacam o potencial da ozonização para otimizar o tratamento de água, especialmente em áreas afetadas por enchentes, como o Arroio Dilúvio. A capacidade do ozônio de promover a mineralização dos poluentes sugere que a ozonização pode ser uma solução robusta para desafios ambientais no Brasil. A implementação de uma unidade compacta de tratamento, integrando ozonização com processos convencionais, representa um avanço significativo na

gestão da qualidade da água, oferecendo benefícios substanciais para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (PPGEQ), ao Laboratório de Separação e Operações Unitárias (LASOP) e ao apoio financeiro brasileiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 172837/2023-5.

Referências

AHMED, M., MAVUKKANDY, M.O., GIWA, A., ELEKTOROWICZ, M., KATSOU, E., KHELIFI, O., NADDEO, V., HASAN, S.W., 2022. Recent developments in hazardous pollutants removal from wastewater and water reuse within a circular economy. npj Clean Water 5, 1–25.

APHA, 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st edition.

BACHMANN, S.A.L., CALVETE, T., FÉRIS, L.A., 2021. Caffeine removal from aqueous media by adsorption: An overview of adsorbents evolution and the kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. Sci. Total Environ. 767, 144229.

BICOSKI, F. DA S., SOUZA, P.K. DE, POLETO, C., 2021. Desassoreamento e dragagem de recursos hídricos urbanos: requisitos para operação, no âmbito municipal, no Estado do Rio Grande do Sul 1–10.

BRASIL, M. DA S., 2021. PORTARIA GM/MS No 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.

CAMARGO-PEREA, A.L., RUBIO-CLEMENTE, A., 2020. Use of Ultrasound as an Advanced Oxidation Process for the Degradation of Emerging Pollutants in Water 1–23.

CHAVES, D.M., ASSIS, C.B.R. DE, FURBINO, S. A. R., 2023. Impacts of Floods on the Doce River in Governador Valadares from 2013 to 2022: Documentary Research. Rev. Científica FACS 23, 42–52.

COSTA, L.R. DE C., ARSUFI, A.B. DA L., OLIVEIRA, J.T. DE, FÉRIS, L.A., 2023. Ozonation for oxidation and transformation of pharmaceuticals in Arroio Diluvio River in Southern Brazil. Ozone Sci. Eng., 1–12.

COSTA, L.R. DE C., FÉRIS, L.A., 2022. Use of ozonation technology to combat viruses and bacteria in aquatic environments: problems and application perspectives for SARS-CoV-2. Environ. Technol. 1–13.

COSTA, L.R. DE C., OLIVEIRA, J.T. DE, JURADO-DAVILA, V., FÉRIS, L.A., 2024. Caffeine and ampicillin degradation by ozonation : Addressing pathways , performance and eco-toxicity. **Chem. Eng. Sci**. 288.

COSTA, L.R. DE C., RIBEIRO, L. DE M., HIDALGO, G.E.N., FÉRIS, L.A., 2020. Determination of optimal operating parameters for tetracycline removal by

adsorption from synthetic and real aqueous solutions. **J. Environ. Sci. Heal**. – Part A Toxic/Hazardous Subst. Environ. Eng. 55, 1615–1623.

DE CARVALHO COSTA, L.R., FÉRIS, L.A., 2023. Integration of ozonation with water treatment for pharmaceuticals removal from Arroio Diluvio in southern Brazil. Water Sci. Technol. 87, 938-953.

ESTEVÃO, M.A. DA S., 2022. **Enchentes em dois municípios do centro-sul de Rondônia:** Riscos Socioambientais e Impactos a Saúde Pública. Fundação Univ. Fed. Rondônia 1–118.

FARKAS, K., WALKER, D.I., ADRIAENSSENS, E.M., MCDONALD, J.E., HILLARY, L.S., MALHAM, S.K., JONES, D.L., 2020. Viral indicators for tracking domestic wastewater contamination in the aquatic environment. **Water Res**. 181, 115926.

GOLOVKO, O., ÖRN, S., SÖRENGÅRD, M., FRIEBERG, K., NASSAZZI, W., LAI, F.Y., AHRENS, L., 2021. Occurrence and removal of chemicals of emerging concern in wastewater treatment plants and their impact on receiving water systems. Sci. Total Environ. 754, 142122.

MAGNI, J., 2023. **Gestão de Processos e Gestão de Riscos para Enfrentar Enchentes no Estado do Rio Grande do Sul:** Uma pesquisa de caráter bibliográfico.

MONTOYA-RODRÍGUEZ, D.M., SERNA-GALVIS, E.A., FERRARO, F., TORRES-PALMA, R.A., 2020. Degradation of the emerging concern pollutant ampicillin in aqueous media by sonochemical advanced oxidation processes – Parameters effect, removal of antimicrobial activity and pollutant treatment in hydrolyzed urine. **J. Environ. Manage**. 261, 110224.

OGASSAWARA, J.F., NUNES, A.B., RIQUETTI, N.B., 2021. Eventos Extremos De Precipitação Na Bacia Hidrográfica Do Rio Piratini: Relação Com Enos E Estudo De Caso. **Rev. Bras. Climatol**. 28, 342–364.

POSSAMAI, R., SERIGATI, F., BASTOS, G., 2024. **Tragédia Climática no Rio Grande do Sul**. Agroanalysis Junho, 14–20.

RIZZOTTO, M.L.F., COSTA, A.M., LOBATO, L. DE V. DA C., 2024. **Crise climática e os novos desafios para os sistemas de saúde:** o caso das enchentes no Rio Grande do Sul/Brasil. Saúde em Debate 48, 1–5.

SILVEIRA, 2020. Chuvas E Vazões Da Grande Enchente De 1941 Em Porto Alegre /Rs Rains and Flows of the Great Flood of 1941 in Porto Alegre /Rs 69–90.

Sinergia entre diferentes agentes em processos oxidativos avançados para a degradação de cafeína

Cassandra Bonfante de Carvalho[1], Katianna Hugue[2], Letícia Reggiane de Carvalho Costa[3], Keila Guerra Pacheco Nunes[4], Liliana Amaral Féris[5]
[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (cassandra.carvalho@ufrgs.br)
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (katianna.hugue@ufrgs.br)
[3]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (leticiaregicar@hotmail.com)
[4]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (keilagpn@gmail.com)
[5]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (liliana.feris@ufrgs.br)

Resumo: Com o avanço da industrialização, a contaminação dos recursos hídricos com compostos químicos provenientes de atividade humana tem se tornado uma preocupação crescente devido à persistência e bioacumulação desses poluentes, mesmo em baixas concentrações. A cafeína, amplamente detectada em matrizes aquosas, destaca-se como um indicador de contaminação antropogênica. Dado seu impacto na saúde e no meio ambiente, estudos sobre a remoção desse composto são essenciais. Neste contexto, o presente estudo avaliou a interação entre os agentes de radiação UV, o reagente de Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}) e o dióxido de titânio (TiO_2) – tanto comercial quanto proveniente de rejeito de caulim – aplicados como processos oxidativos avançados (POAs) para a remoção da cafeína de soluções aquosas durante 15 minutos. Os resultados mostraram que o uso isolado de radiação UV obteve baixa eficiência de degradação (0,6%), enquanto os sistemas combinados UV/H_2O_2 e foto-Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}/UV) apresentaram maiores percentuais de degradação (30,1% e 98,9%, respectivamente), evidenciando o efeito sinérgico entre os agentes. Embora o foto-Fenton heterogêneo (H_2O_2/Fe^{2+}/UV/TiO_2) não tenha superado a eficácia dos outros sistemas, o uso do rejeito de caulim mostrou-se promissor, apresentando potencial para a substituir o TiO_2 comercial. Em conclusão, os resultados deste estudo destacam a eficácia dos processos oxidativos avançados, especialmente o foto-Fenton, para a remoção de cafeína, além de mostrar o potencial do rejeito de caulim como catalisador, contribuindo para tratamentos mais eficientes e sustentáveis de contaminantes emergentes.

Palavras-chave: Cafeína. Processos oxidativos avançados. Efeito sinérgico.

Synergy between different agents in advanced oxidative processes for caffeine degradation

Abstract: With the advancement of industrialization, the contamination of water resources with chemical compounds from human activity has become a growing concern due to the persistence and bioaccumulation of these pollutants, even at low concentrations. Caffeine, widely detected in aqueous

matrices, stands out as an indicator of anthropogenic contamination. Given its impact on health and the environment, studies on the removal of this compound are essential. In this context, the present study evaluated the interaction between UV radiation agents, Fenton's reagent (H_2O_2/Fe^{2+}) and titanium dioxide (TiO_2) – both commercial and from kaolin waste – applied as advanced oxidative processes (AOPs) for removing caffeine from aqueous solutions for 15 minutes. The results showed that the isolated use of UV radiation obtained low degradation efficiency (0.6%), while the combined UV/H_2O_2 and photo – Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}/UV) systems showed higher degradation percentages (30.1 % and 98.9%, respectively), highlighting the synergistic effect between the agents. Although heterogeneous photo-Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}/UV/TiO_2) did not surpass the effectiveness of other systems, the use of kaolin waste showed promise, presenting potential to replace commercial TiO_2. In conclusion, the results of this study highlight the effectiveness of advanced oxidative processes, especially photo-Fenton, for caffeine removal, in addition to showing the potential of kaolin waste as a catalyst, contributing to more efficient and sustainable treatments of emerging contaminants.

Key words: Caffeine. Advanced oxidation processes. Synergistic effect.

Introdução

A contaminação dos recursos hídricos tem se intensificado com o avanço da industrialização, tornando-se um desafio crescente para a sociedade. Diversos compostos químicos, como poluentes emergentes, com características variadas e, em muitos casos, efeitos ainda desconhecidos nos ecossistemas, estão presentes em águas e efluentes. Muitos desses poluentes possuem alta persistência, baixa biodegradabilidade e grande potencial de bioacumulação, mesmo em concentrações na faixa de µg/L e ng/L (Zoumpouli *et al.*, 2020). A cafeína (CAF), um alcaloide encontrado em plantas e amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica, destaca-se como um excelente indicador de contaminação da água proveniente de atividades humanas (Bachmann *et al.*, 2021). No Brasil, estudos realizados entre 2011 e 2021 identificaram a presença de cafeína, junto a outros contaminantes, em diversas matrizes aquosas (Marson *et al.*, 2022).

É relatado que os tratamentos convencionais aplicados em águas residuais nem sempre são eficazes na remoção de alguns poluentes, como a cafeína (Hübner *et al.*, 2022). Diante disso, torna-se essencial o desenvolvimento e a implementação de métodos alternativos que atendam aos padrões de qualidade estabelecidos por órgãos ambientais e de saúde, visando mitigar os impactos dessa contaminação na saúde e no meio ambiente. Os processos oxidativos avançados (POAs), que geram radicais hidroxila (•OH), uma espécie altamente reativa (Friedman *et*

al., 2022), surgem como uma alternativa eficaz para superar as limitações dos tratamentos convencionais. Entre os exemplos de POAs, destacam-se a fotólise, a fotocatálise e o processo Fenton.

No processo Fenton, a geração de radicais hidroxila •OH ocorre pela decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), catalisada por íons Fe^{2+} (Babuponnusami e Muthukumar, 2014). A combinação de diferentes agentes oxidantes, como H_2O_2, radiação UV e dióxido de titânio (TiO_2), potencializa a formação de radicais hidroxila, melhorando a eficiência do tratamento e gerando um efeito sinérgico para remoção mais eficaz de poluentes (Chen *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019). Além disso, a utilização e modificação de materiais residuais, como cinzas de biomassa ou rejeitos industriais, pode reduzir os custos de produção de catalisadores, minimizar o impacto ambiental e aumentar a atividade catalítica, promovendo uma abordagem mais sustentável (Ghahrchi e Rezaee, 2020; Du *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de investigar a sinergia entre diferentes agentes, sendo eles, a radiação UV, o reagente Fenton (H_2O_2/Fe^{2+}) e o dióxido de titânio (TiO_2) – tanto comercial quanto proveniente de rejeito de caulim), aplicados como processos oxidativos avançados (POAs) na degradação de cafeína de matriz aquosa.

Metodologia

Materiais

Solução estoque de cafeína (1000 mg/L) (> 96%, Sigma-Aldrich) foi preparada com água destilada e diluída para os experimentos. H_2O_2 (35% v/v, Neon) e sulfato ferroso heptahidratado (99%, Neon) foram aplicados como reagentes Fenton. Tiossulfato de sódio penta-hidratado (99,5%, Dinâmica Química Contemporânea) foi utilizado para finalizar a reação de Fenton. Soluções de H_2SO_4 (98%, Anidrol) e NaOH (98%, Synth) foram utilizadas para ajuste de pH e modificação do sólido. Anatase de TiO_2 (IV) (>99%, Sigma-Aldrich), com granulometria menor que 0,044mm, área superficial de 8,943 m^2/g e volume poroso de 0,015 cm^3/g foi usado como catalisador. As amostras de rejeito de caulim vieram de uma empresa de mineração em Monte Dourado, estado do Pará, Brasil, e foram peneiradas em granulometria menor que 0,044 mm. O percentual da fase anatase no rejeito era de 8,9%.

Modificação e Caracterização Inicial do Rejeito de caulim

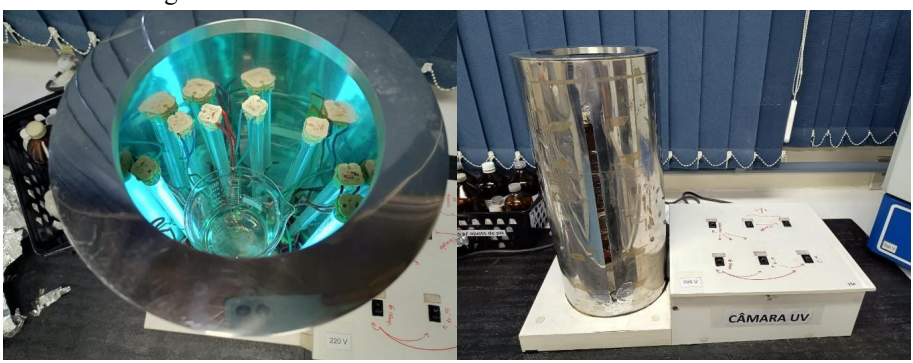
A modificação do rejeito de caulim foi fundamentada no estudo realizado por Du *et al.* (2024). Para a modificação por ativação térmica, o caulim bruto foi submetido a um forno mufla (marca Quimis) a 900 °C por 1 hora, obtendo um caulim modificado (900-Caulim). Em seguida, 10 g de 900-Caulim foram misturados com 100 mL de uma solução de H_2SO_4 4 mol/L. Essa suspensão foi agitada a 80 °C por 2 horas, sendo posteriormente lavada e centrifugada três vezes. A amostra resultante foi dispersa em água ultrapura na proporção sólido-líquido de 1:10 e tratada em um dispositivo ultrassônico (25 kHz, por 10 minutos). Após a centrifugação, a amostra foi seca a 105 °C até a obtenção de peso constante, resultando no caulim modificado por ácido (H-Caulim). O processo de preparação do caulim modificado por álcalis seguiu um procedimento semelhante ao do H-Caulim, alterando a adição do ácido por base (NaOH) a 3 mol/L (OH-Caulim).

As propriedades superficiais dos materiais foram analisadas com um analisador de poros NOVA 4200e da Quantachrome. O método Brunauer-Emmett-Teller (BET) foi utilizado para determinar a área de superfície específica e o método Barrett-Joyner-Halenda (BJH) caracterizou os parâmetros mesoporosos.

Sistema de Radiação Ultravioleta

O sistema de radiação UV foi composto por doze lâmpadas UV-C, com potência de 8W (254 nm, UV-C XELUX G5), colocadas na parede interna da câmara (Figura 1). A radiação efetiva atuante no meio reacional foi 4,98 W m^{-2}, medida pelo actinômetro de ferrioxalato de potássio. Antes de iniciar a reação, as lâmpadas foram previamente ligadas para homogeneizar o sistema.

Figura 1. Câmara UV utilizada nos ensaios de foto-Fenton.



Ensaios de degradação da cafeína

Para avaliar o efeito da sinergia dos agentes, foram realizados diferentes processos oxidativos. Concentração e volume de CAF, pH da solução, concentração dos reagentes Fenton, dosagem de catalisador, radiação UV e tempo foram fixados em 10 mg/L em 250 mL, pH 3, $[H_2O_2]$ = 100 mg/L; $[Fe^{2+}]$ = 5 mg/L, [Caulim]= 500 mg/L, $[TiO_2]$ = 44,8 mg/L, radiação UV 48 W, tempo = 1, 3, 5 e 15 minutos, respectivamente. Em pH ácido, foram adicionados a solução de sulfato ferroso e os catalisadores, conforme as condições de cada experimento. O reator foi transferido para uma câmara UV e adicionou-se H_2O_2 para início da reação. Ao final do tempo de reação, tiossulfato de sódio foi utilizado para encerrar o processo.

Os processos consistiram em 20 ensaios, em duplicata, variando os agentes, a fim de compreender o efeito de cada um. Foram realizados ensaios de fotólise (UV), fotocatálise heterogênea (UV/Caulim; UV/900-Caulim; UV/H-Caulim; UV/OH-Caulim; UV/TiO_2) e homogênea (UV/Fe^{+2} e UV/H_2O_2), Fenton (UV/H_2O_2), foto-Fenton (UV/H_2O_2/Fe^{+2}), foto-Fenton heterogêneo (UV/H_2O_2/Fe^{+2}/TiO_2; UV/H_2O_2/Fe^{+2}/Caulim; UV/H_2O_2/Fe^{+2}/900-Caulim; UV/H_2O_2/Fe^{+2}/H-Caulim; UV/H_2O_2/Fe^{+2}/OH-Caulim) e foto-Fenton like (UV/H_2O_2 /TiO_2; UV/H_2O_2/Caulim; UV/H_2O_2/900-Caulim;UV/H_2O_2/H-Caulim; UV/H_2O_2/OH-Caulim).

Após adição do Fe^{+2} e antes da adição de H_2O_2, uma alíquota de 15 mL referente ao tempo zero da reação foi coletada e, na sequência do início da reação, alíquotas de 15 mL foram coletadas nos intervalos de tempo definidos. Adicionou-se um volume calculado de $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 1 mol/L para cessar a reação, garantindo a interrupção da degradação do composto.

A concentração de CAF foi analisada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com detector DAD (Agilent modelo 1200 Infinity Series). As amostras foram inicialmente filtradas em membrana de nitrato de celulose com abertura 0,22 μm. O comprimento de onda de detecção foi ajustado em 273 nm e foi utilizada uma coluna Perkin Elmer C18 de 5 μm e 250 x 4,6 mm. Um volume de 20 μL de cada amostra foi injetado no equipamento com vazão de 1 mL/min e temperatura de 40°C. A fase móvel consistiu de água ultrapura (70%) e metanol (30%).

A eficiência de degradação de CAF foi calculada de acordo com a Equação (1), onde C_0 representa a concentração inicial de cafeína, C_t representa a concentração de cafeína após um intervalo de tempo t de reação.

Resultados e discussão

Caracterização dos sólidos

Os resultados da caracterização dos sólidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de BET/BJH da modificação do sólido.

Sólido	Área superficial ($m^2\ g^{-1}$)	Área superficial de Poros ($m^2\ g^{-1}$)	Volume de poros ($cm^3\ g^{-1}$)	Diâmetro de Poro (A)
Caulim	11,74	25,03	0,037	4,77
900-Caulim	12,39	29,07	0,035	4,76
H-Caulim	247,03	371,78	0,237	4,82
OH-Caulim	17,46	25,05	0,038	6,22

Os resultados mostram que as modificações aplicadas aos sólidos 900-Caulim e OH-Caulim proporcionaram um leve aumento nas propriedades superficiais, bem como no diâmetro e volume de poros. Por outro lado, a modificação com ácido (H-Caulim) resultou em um aumento significativo desses fatores, resultando em área superficial de 247,03 m^2/g e volume de poros de 0,237 cm^3/g. Esses valores indicam que o sólido CA desenvolveu uma estrutura altamente porosa, o que potencializa sua capacidade de adsorção e torna o material especialmente vantajoso para aplicações que demandam uma alta superfície ativa, como processos de catálise.

Ensaios de degradação de cafeína

Os resultados para a degradação de cafeína, considerando os diferentes processos aplicados, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de sinergia dos processos para a degradação de CAF.

	Degradação de CAF (%)			
Processos	1 min	3 min	5 min	15 min
UV	0,0	0,0	0,0	0,6
UV/Caulim	0,5	0,0	0,0	6,2

UV/900-Caulim	0,0	0,0	0,0	0,0
UV/H-Caulim	0,1	0,0	0,0	0,0
UV/OH-Caulim	0,1	0,0	0,1	4,4
UV/TiO_2	2,1	6,0	6,6	17,3
UV/Fe^{+2}	0,3	0,0	1,8	4,8
UV/H_2O_2	1,2	4,0	12,4	30,1
H_2O_2/Fe^{+2} (Fenton)	59,3	63,8	64,9	67,6
UV/H_2O_2/Fe^{+2} (foto-Fenton)	81,9	90,3	95,8	98,9
UV/$H_2O_2/Fe^{+2}/TiO_2$	86,3	98,4	99,9	99,7
UV/H_2O_2/Fe^{+2}/Caulim	80,0	88,2	93,6	100,0
UV/H_2O_2/Fe^{+2}/900-Caulim	80,9	88,4	93,6	99,6
UV/H_2O_2/Fe^{+2}/H-Caulim	87,2	81,1	88,0	97,7
UV/H_2O_2/Fe^{+2}/OH-Caulim	49,3	50,8	51,9	60,0
UV/H_2O_2/Caulim	2,2	2,2	2,5	9,0
UV/H_2O_2/900-Caulim	0,8	0,2	1,3	6,3
UV/H_2O_2/H-Caulim	1,0	1,9	3,3	10,1
UV/H_2O_2/OH-Caulim	0,0	0,0	0,0	3,1
UV/H_2O_2/TiO_2	2,7	4,1	7,4	26,3

Condições: [CAF] = 10 mg/L, 250 mL, pH 3, [H_2O_2] = 100 mg/L; [Fe^{2+}] = 5 mg/L, [Caulim]= 500 mg/L,
[TiO_2] = 44,8 mg/L, radiação UV 48W.

Em um contexto de tratamento avançado de água, radiação UV, H_2O_2, íons ferro (Fe^{2+}) e catalisadores heterogêneos são frequentemente combinados para decompor poluentes orgânicos. A sinergia desses agentes vem sendo estudada em busca de otimizar os processos e atingir uma rápida degradação dos poluentes (Liu *et al.*, 2018). Quando esses agentes são usados em conjunto, se espera o aumento da produção de radicais hidroxila e a recuperação dos agentes oxidantes, como o Fe^{+2} no processo foto-Fenton. O H_2O_2, ao ser ativado por UV e pelos íons de ferro, pode gerar uma grande quantidade de •OH que, por sua vez, podem ser mais eficazes na presença de catalisadores promovendo reações em sua superfície. Logo, o resultado esperado é um sistema com poder de oxidação muito mais rápido e eficiente, em comparação ao componente isolado.

Observa-se que a radiação UV não foi eficaz de forma isolada na degradação da cafeína, o que é um comportamento esperado conforme

relatado por diversos estudos (Arshad *et al.*, 2020; Kaviyarasu *et al.*, 2020). O mesmo comportamento foi observado nos ensaios de fotocatálise utilizando os rejeitos 900-Caulim e H-Caulim, que apresentaram valores finais de degradação de 6,2% e 4,4% respectivamente. Vale ressaltar que, embora os rejeitos de caulim tenham mostrado menor eficiência quando comparados ao TiO_2 comercial, eles oferecem vantagens importantes. A utilização de materiais residuais como o caulim contribui para uma abordagem mais sustentável e de baixo custo, ao mesmo tempo em que pode ser aprimorada para potencializar sua atividade catalítica. Além disso, a quantidade de rejeito de caulim utilizada nos ensaios (500 mg/L), em relação à dosagem de TiO_2 (44,8 mg/L), pode ter influenciado a absorção da radiação UV, resultando em dispersão da luz e uma redução na eficiência do processo (Chen *et al.*, 2020; Turolla *et al.*, 2016).

A combinação UV/H_2O_2 demonstrou um efeito sinérgico expressivo, alcançando um percentual de degradação de 30%. Quando o H_2O_2 é utilizado isoladamente, a falta de um agente ativador compromete a produção de radicais hidroxila. Nos sistemas UV/H_2O_2/Catalisador sólido, os valores de degradação variaram entre 3,1% e 10,1% para Caulim e suas versões modificadas, e 26,3% para TiO_2 comercial. Esses resultados confirmam o efeito sinérgico do H_2O_2 em comparação com os sistemas UV/Catalisador, evidenciando a importância da combinação desses agentes para otimizar a degradação de cafeína e, possivelmente, outros poluentes emergentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Ding *et al.* (2020), que relataram que a eficácia do processo UV/H_2O_2 aumentou consideravelmente quando combinado com catalisadores.

O ensaio com o sistema UV/Fe^{2+} resultou em uma baixa degradação de cafeína, com apenas 4,8% de remoção. Em contrapartida, o processo Fenton, que utiliza H_2O_2 e Fe^{2+}, alcançou uma degradação de 67,6%. Já o sistema foto-Fenton, que inclui a radiação UV, obteve uma degradação de 98,9%. A adição da radiação UV no processo Fenton promove a produção de radicais hidroxila (•OH), aumentando a eficiência da degradação, o que é consistente com os estudos de Liu *et al.* (2018). No processo Fenton, o Fe^{2+} reage com o H_2O_2 para gerar radicais •OH. Quando a radiação UV é aplicada, ocorre uma reação fotoquímica adicional, onde o Fe+3 gerado é reduzido novamente a Fe+2, reiniciando o ciclo de produção de radicais. Essa regeneração contínua do ferro na presença de UV intensifica ainda mais a produção de radicais hidroxila,

conforme descrito por Zhang *et al.* (2019). Portanto, a radiação UV se mostrou o principal fator responsável pela sinergia nos sistemas, como evidenciado pelos altos percentuais de degradação alcançados no sistema foto-Fenton, em comparação com os sistemas UV/Fe^{2+} e Fenton.

Os maiores percentuais de degradação da cafeína foram alcançados pelos sistemas foto-Fenton clássico e heterogêneo, que obtiveram degradação de aproximadamente 100% em apenas 15 minutos. O efeito sinergético entre os agentes no processo foto-Fenton contribui para um aumento significativo na produção de radicais hidroxila, o que acelera a cinética de reação. Isso é evidenciado pelos resultados dos ensaios, nos quais foi possível alcançar uma degradação de 80% em apenas 1 minuto. Esse aumento na velocidade de degradação pode ser atribuído à intensificação da geração de radicais hidroxila, promovida pela combinação da radiação UV, peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o catalisador Fe^{+2}, essencial para a eficiência do processo.

Os ensaios de foto-Fenton heterogêneo apresentaram desempenhos similares ao do sistema clássico, exceto o sistema com OH-Caulim, que foi menos eficiente. Embora os catalisadores à base de caulim não superem o TiO_2, sua aplicação oferece benefícios sustentáveis. O uso de rejeitos para substituir o TiO_2 reduz a dependência de materiais de alto custo e minimiza impactos ambientais. Essa abordagem está alinhada aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável, transformando subprodutos em recursos úteis para o tratamento avançado de água, com potencial para aplicações mais eficientes e sustentáveis.

Conclusão

O estudo avaliou o efeito sinérgico entre diferentes agentes na degradação de cafeína, evidenciando resultados importantes. Os processos de fotólise e fotocatálise isolados não demonstraram eficiência significativa, enquanto o uso de H_2O_2 e TiO_2 aumentou consideravelmente o percentual de degradação em comparação aos demais catalisadores. O processo foto-Fenton destacou-se, alcançando aproximadamente 100% de degradação da cafeína. Embora os rejeitos de mineração tenham sido testados como catalisadores alternativos, os resultados mostraram que, mesmo com modificações na superfície, sua capacidade catalítica não foi aprimorada. Entretanto, surgem como uma alternativa ao TiO_2, reduzindo a dependência de materiais de alto custo, valorizando resíduos industriais e minimizando impactos ambientais. O estudo re-

forçou a importância do efeito sinérgico entre os processos avaliados, evidenciando que a combinação dos métodos resultou em um aumento significativo na eficiência de degradação. Entre as abordagens testadas, o foto-Fenton destacou-se como a mais eficaz, consolidando seu potencial para aplicações avançadas no tratamento de contaminantes emergentes e contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis.

Referências

ARSAND, J.B., DALLEGRAVE, A., JANK, L., FEIJO, T., PERIN, M., HOFF, R.B., ARENZON, A., GOMES, A., PIZZOLATO, T.M., 2023. Spatial-temporal occurrence of contaminants of emerging concern in urban rivers in southern Brazil. Chemosphere 311.

ARSHAD, R., BOKHARI, T. H., JAVED, T., BHATTI, I. A., RASHEED, S., IQBAL, M., NAZIR, A., NAZ, S., KHAN, M. I., KHOSA, M. K. K., IQBAL, M., ZIA-UR-REHMAN, M. Degradation product distribution of Reactive Red-147 dye treated by UV/H2O2/TiO2 advanced oxidation process. Journal of materials research and technology. 2020.

BABUPONNUSAMI, A., MUTHUKUMAR, K., 2014. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. J. Environ. Chem. Eng. 2, 557–572.

BACHMANN, S.A.L., CALVETE, T., FÉRIS, L.A., 2021. Caffeine degradation from aqueous media by adsorption: An overview of adsorbent evolution and the kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. Sci. Total Environ. 767, 144229.

CHEN, D., CHENG, Y., ZHOU, N., CHEN, P., WANG, Y., LI, K., HUO, S., CHENG, P., PENG, P., XHANG, R., WANG, L., LIU, H., LIU, Y., RUAN, R. Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO2-based photocatalysts: A review. Journal of Cleaner Production, v. 268, p. 121725, 2020.

DING, X., GUTIERREZ, L., CROUE, J-P., LI, M., WANG, L., WANG, W., WANG, Y. Hydroxyl and sulfate radical-based oxidation of RhB dye in UV/H2O2 and UV/persulfate systems: Kinetics, mechanisms, and comparison. Chemosphere, 126655, 2020.

DU, H., ZHONG, Z., JIN, B., ZHANG, B., ZHENG, X., YANG, Y., & LI, Q. Thermal activated-acid/alkali modified kaolin for enhanced heavy metals capture during high-organic solid waste pyrolysis: Experimental and theoretical comparative study. Fuel, 366, 2024.

GHAHRCHI, M., REZAEE, A., 2020. Electro-catalytic ozonation for improving the biodegradability of mature landfill leachate. J. Environ. Manage. 254, 109811.

FRIEDMAN, L., CHANDRAN, K., AVISAR, D., TAHER, E., KIRCHMAIER-HURPIA, A.,

MAMANE, H., 2022. Accelerating Microbial Activity of Soil Aquifer Treatment by Hydrogen Peroxide. Energies 15, 3852. https://doi.org/10.3390/en15113852

HÜBNER, U., SPAHR, S., LUTZE, H., WIELAND, A., RÜTING, S., GERNJAK, W., WENK, J., 2022. Emerging advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – guidance for systematic future research. EarthArXiv 1–71.

KAVIYARASU, K., MAGDALANE, C. M., JAYAKUMAR, D., SAMSON, Y., BASHIR, A. K. H., MAAZA, M., LETSHOLATHEBE, D., MAHMOUD, A. H., KENNEDY, J., 2020. High performance of pyrochlore like Sm2Ti2O7 heterojunction photocatalyst for efficient degradation of rhodamine-B dye with waste water under visible light irradiation. Journal of kind saud university – science, 32, 1516 – 1522.

LIU, X., ZHANG, L., ZHANG, Q., LI, M., ZHAO, Z., LIN, B., PENG, J., SHEN, H., HE, Q., 2024. Fenton-like system of UV/Glucose-oxidase@Kaolin coupled with organic green rust: UV-enhanced enzyme activity and the mechanism of UV synergistic degradation of photosensitive pollutants. Environ Res 247.

LIU, X., ZHOU, Y., ZHANG, J., LUO, L., YANG, Y., HUANG, H., PENG, H., TANG, L., MU, Y., 2018. Insight into electro-Fenton and photo-Fenton for the degradation of antibiotics: Mechanism study and research gaps. Chemical engineering journal, 347, 379–397.

MARSON, E.O., PANIAGUA, C.E.S., GOMES JÚNIOR, O., GONÇALVES, B.R., SILVA, V.M., RICARDO, I.A., MARIA, M.C., AMORIM, C.C., TROVÓ, A.G., 2022. A review toward contaminants of emerging concern in Brazil: Occurrence, impact and their degradation by advanced oxidation process in aquatic matrices. Science of the Total Environment.

MAYNARD, R.N., MILLMAN, N., IANNICELLI, J., 1969. A method for removing titanium dioxide impurities from kaolin. Clays Clay Miner 17, 59–62.

ÖZCAN, A., ATILIR ÖZCAN, A., DEMIRCI, Y., ŞENER, E., 2017. Preparation of Fe2O3 modified kaolin and application in heterogeneous electro-catalytic oxidation of enoxacin. Appl Catal B 200, 361–371. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.018

TUROLLA, A., SANTORO, D., DE BRUYN, J. R., CRAPULLI, F., ANTONELLI, M. Nanoparticle scattering characterization and mechanistic modelling of UV–TiO2 photocatalytic reactors using computational fluid dynamics. Water R., v. 88, p.117–126, 2016.

WANG, J., ZHUAN, R., 2020. Degradation of antibiotics by advanced oxidation processes: An overview. Sci. Total Environ. 701, 135023. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135023

ZHANG, M. HUI, DONG, H., ZHAO, L., WANG, D. XI, MENG, D., 2019. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. Sci. Total Environ. 670, 110–121.

ZHOU, C., PENG, X., LI, X., QI, K., GAO, L., 2023. Stable CuFeO/Kaolin-based catalytic particle electrode in 3D heterogeneous electro-Fenton system for orange G removal: Synthesis, performance and mechanism. J Environ Chem Eng 11.

ZOUMPOULI, G.A., SOUZA, F. S., PETRIE, B., FÉRIS, L.A., KASPRZYK-HORDERN, B., WENK, J., 2020. Simultaneous ozonation of 90 organic micropollutants including illicit drugs and their metabolites in different water matrices. Environ. Sci. Water Res. Technol. 6, 2465–2478.

Análise do Desempenho e Emissões de um motor Diesel Operando em Modo Bicombustível Através da Injeção Indireta de Etanol

Josimar Souza Rosa[1], Túlio Augusto Zucarelli de Souza[2], Thomas Hammes[3], Giovani Dambros Telli[3]
[1]*Universidade do Vale do Rio dos Sinos (js-rosa@hotmail.com)*
[2]*Universidade Federal do Pampa (tuliosouza@unipampa.edu.br)*
[3]*Universidade de Caxias do Sul (thammes@ucs.br; gdtelli@ucs.br)*

Resumo: No Brasil os motores a diesel são utilizados amplamente no transporte de carga em geral, especialmente nos setores agropecuários e agrícolas, além de grande parte do transporte de passageiros. A problemática desses equipamentos está na queima do óleo diesel devido aos seus impactos nocivos tanto no meio ambiente quanto à saúde humana. Para reduzir esses impactos estuda-se substituir a utilização de óleo diesel, que é um combustível fóssil por combustíveis renováveis. Dessa forma, este estudo apresenta uma avaliação do desempenho e das emissões de um motor monocilíndrico diesel operando com a substituição parcial do diesel por etanol. O etanol foi injetado no duto de admissão do motor, enquanto o diesel foi injetado diretamente na câmara de combustão. Os ensaios em modo bicombustível (*dual-fuel*) foram realizados com o motor operando na mesma faixa de potência (aproximadamente 60% da capacidade) para quatro vazões de etanol e com duas diferentes vazões de ar de admissão. Em geral, para todas as vazões aplicadas e para ambas as vazões de ar ajustadas, os resultados mostraram um aumento na eficiência térmica em torno de 9% em relação ao modo convencional de operação. Com relação às emissões observa-se uma redução máxima de em torno de 50% na opacidade dos gases e em torno de 22,8% nas emissões de NOx. No entanto, o uso do etanol gerou um aumento nas quantidades de CO emitidos.

Palavras-chave: Motores de combustão interna. Dual-fuel. Etanol. Diesel. Emissões.

Performance and Emissions Analysis of a Diesel Engine Operating in Dual-Fuel Mode Using Ethanol Port Fuel Injected

Abstract: In Brazil, diesel engines are widely used for general freight transportation, particularly in the agricultural and farming sectors, as well as a significant portion of passenger transportation. The primary concern with these engines lies in the combustion of diesel oil, which has detrimental effects on

both the environment and human health. To reduce these impacts, research is being conducted to replace diesel fuel, which is a fossil fuel, with renewable fuels. This study evaluates the performance and emissions of a single-cylinder diesel engine operating with partial substitution of diesel by ethanol. The ethanol was port fuel injected while the diesel was direct injected. The dual-fuel tests were conducted with the engine running at the same power level (approximately 60% of capacity) across four ethanol flow rates and two different intake air flow rates. Overall, the results demonstrated an increase in thermal efficiency of approximately 9% compared to conventional diesel operation for all tested ethanol flow rates and air flow adjustments. Regarding emissions, there was a maximum reduction of around 50% in gas opacity and approximately 22.8% in NOx emissions. However, the use of ethanol led to a significant increase in carbon monoxide (CO) emissions.

Keywords: Internal combustion engine. Diesel. Ethanol. Emissions. Dual-Fuel.

Introdução

Motores de ignição por compressão (CI) são os motores de combustão interna (ICE) mais comuns e amplamente utilizados em todo o mundo. Isso deve-se à sua maior eficiência térmica, confiabilidade e durabilidade (Gültekin, 2024). Eles desempenham um papel importante na matriz de transportes da maioria dos países, entretanto, são um dos maiores responsáveis pela poluição ambiental ao converter energia de combustíveis fósseis em energia mecânica por meio do processo da combustão do diesel (Bendu & Murugan, 2014). Além disso, esses motores utilizam combustíveis fósseis, que são recursos limitados e os seus preços e o consumo tendem a aumentar constantemente devido ao aumento populacional e à melhoria na qualidade de vida. Nesse contexto, é inevitável substituir o óleo diesel por biodiesel, álcoois ou outros combustíveis renováveis (Smaniotto *et al.*, 2024).

O etanol é um combustível renovável produzido a partir da fermentação de fontes renováveis, sendo as principais matérias-primas a cana-de-açúcar, a beterraba e o amido de milho. A produção global de etanol é expressiva e tende a aumentar. Em 2023, os EUA produziram 52% de todo o etanol produzido no mundo, seguido pelo Brasil, com 28% da produção global total (Renewable Fuels Association, 2023). A principal vantagem de usar etanol em motores de combustão interna é por ele ser um combustível renovável e alternativo, ajudando a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa e gases poluentes ao meio ambiente. No entanto, o uso de etanol em motores CI é desafiador devido ao seu baixo número de cetano e baixo poder calorífico.

Nos últimos anos, diversos pesquisadores vêm realizando pesquisadas para viabilizar o uso do etanol em motores CI, empregando diferentes métodos e quantidades de etanol no modo bicombustível. De acordo com Imran *et al.* (2013), os métodos mais comuns são as misturas de etanol-diesel e a fumigação com etanol. No método de fumigação, o etanol é vaporizado ou injetado diretamente no coletor de admissão do motor. Essa técnica apresenta a vantagem de exigir mínimas modificações no motor, manter os sistemas de injeção de etanol e diesel separados, permitindo flexibilidade de operação, dispensar aditivos para melhorar a miscibilidade ou propriedades físico-químicas e possibilitar que o método de fumigação substitua facilmente até 50% do óleo diesel (Imran *et al.*, 2013).

Pandey *et al.*, (2020) estudaram um motor CI operando com etanol sendo injetado no duto de admissão do motor e diesel sendo diretamente injetado no cilindro do motor. Uma quantidade fixa de 15% de etanol foi injetada com uma recirculação dos gases de exaustão. Em cargas altas e moderadas, os resultados mostraram uma redução nas emissões de NOx e opacidade, com um ganho de eficiência térmica. No trabalho de Chuepeng *et al.*, (2023) foram apresentados o desempenho e as emissões de um motor diesel operando no modo de dual-fuel com um injeção principal direta de éster etílico de óleo de palma (POEE) e etanol como combustível suplementar. Os resultados mostraram uma redução no desempenho do motor com o aumento da vaporização do etanol no modo dual-fuel em comparação com o POEE e o diesel convencional. No entanto, a economia de combustível do POEE no modo de bícombustível aumentou em 40% em comparação com o motor operando somente com POEE. Observou-se que o POEE combinado com a fumigação de etanol apresentou uma redução nas emissões de CO_2, NO_X e material particulado, enquanto o CO aumentou significativamente.

Em trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa, Telli *et al.*, (2018) investigaram os efeitos de um motor de ignição por compressão utilizando diesel com 7% de biodiesel (B7) e etanol hidratado pelo método de fumigação. O etanol hidratado foi injetado no coletor de admissão do motor por meio de um injetor de combustível no duto de admissão, representando proporções de energia do etanol de 11,5% a 52,3%. Os resultados indicaram uma redução máxima de cerca de 69% no índice de fumaça e diminuição tanto nas emissões de CO quanto de CO2. Observou-se um aumento máximo de 26,2% na eficiência térmica e de

22,9% na eficiência exergética. No entanto, foi notado um aumento nas emissões de HC e no consumo específico de combustível. Outros trabalhos do grupo também abordaram a operação dual-fuel em motores diesel (Rosa, Lorenzini, *et al.*, 2019; Telli *et al.*, 2020).

Com a literatura apresentada anteriormente, fica claro que a operação de um motor de ignição por compressão no modo dual-fuel tem o potencial de substituir parte do diesel convencional por um combustível renovável, reduzindo emissões de gases poluentes e de efeito estufa. Dessa forma, esse trabalho investiga o desempenho e emissões de um motor de ignição por compressão operando no modo dual-fuel – com diesel sendo injetado diretamente no cilindro e etanol sendo injetado no duto de admissão do motor. Nesse trabalho variou-se a vazão de etanol e a vazão de ar no duto de admissão, e os parâmetros de eficiência térmica, consumo específico de combustível e emissões foram avaliadas.

Metodologia

Os ensaios para esta pesquisa foram realizados no Laboratório de Motores da Universidade de Caxias do Sul. O motor utilizado no estudo consiste em um modelo Agrale M93 ID a diesel, indicado para aplicações. rurais como em mini tratores e para geração de energia. Este motor é monocilíndrico, refrigerado a ar, 4 tempos, com cilindrada de 668 cm^3. A razão de compressão é de 20:1. Três alterações foram realizadas no motor para que ele pudesse operar nas condições investigadas: um novo tanque de combustível foi instalado externamente para suprir a demanda de etanol; um sistema de injeção de combustível foi instalado no coletor de admissão para suprimento do etanol; uma borboleta para restrição do suprimento de ar foi instalada na admissão com objetivo de analisar os efeitos em combinação com a fumigação.

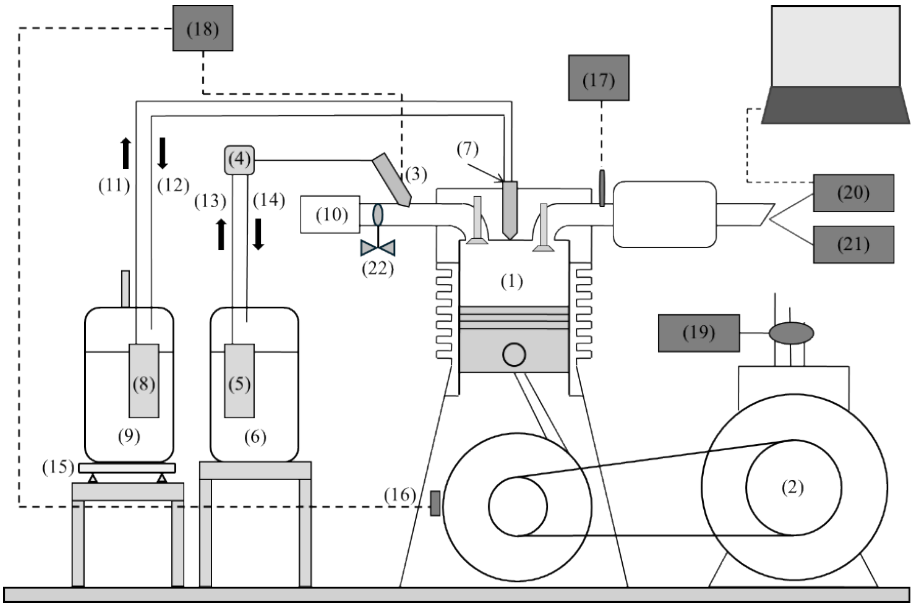
Nenhuma outra alteração física foi realizada no motor, mantendo a sua originalidade física, especialmente com relação às suas partes internas. Um alternador trifásico modelo 132LA, de 10 kVA, foi conectado ao motor por meio de um sistema de polias e correias, sendo responsável por aplicar carga ao motor. A energia elétrica gerada foi dissipada em um conjunto de resistências elétricas posicionadas na parte externa do laboratório de motores.

Montagem experimental

A montagem experimental utilizada na pesquisa é mostrada na Figura 1. O suprimento de etanol se deu por meio de um eletro-injetor de um motor automotivo (3) de baixa cilindrada, instalado no coletor de admissão. O controle deste eletro-injetor foi realizado por meio de uma central de injeção eletrônica programável Fueltech, modelo FT300 (18). Nesta central, o tempo de abertura do eletro-injetor foi programado para diferentes valores em cada ensaio bicombustível, com objetivo de aumentar a cada ensaio o percentual de etanol na combustão. O injetor era acionado cada vez que a central reconhecia o sinal do sensor de posição do motor (16), instalado junto ao volante.

No coletor de admissão foi instalada uma válvula borboleta com controle manual, com objetivo de investigar os efeitos da restrição de ar na operação deste motor, visto que o etanol possui menor necessidade de ar para combustão. Um sensor de medição de fluxo de ar (MAF, mass air flow meter) foi instalado no coletor de admissão para medição da vazão de ar. Este sensor é fundamental no experimento pois ele fornece a informação precisa sobre a vazão de ar em cada condição da borboleta de admissão. O sistema de suprimento de diesel original do motor não foi alterador, exceto pela inclusão de um tanque de combustível externo, instalado sobre uma balança, que permitiu a medição do consumo deste combustível.

Figura 1 – Montagem experimental



(1) Motor de ignição por compressão; (2) Alternador; (3) Injetor de etanol; (4) Válvula reguladora de pressão do etanol; (5) Bomba de pressurização de etanol; (6) Tanque de etanol; (7) Injetor de diesel; (8) Bomba de pressurização de diesel; (9) Tanque de diesel; (10) Medidor de vazão de ar; (11) Linha de alimentação de diesel; (12) Linha de retorno de diesel; (13) Linha de alimentação de etanol; (14) Linha de retorno de etanol; (15) Balança de diesel; (16) Sensor de posição do motor; (17) Medidor de temperatura dos gases de exaustão; (18) Controlador da injeção de etanol; (19) Analisador de energia; (20) Opacímetro; (21) Analisador de gases.

O consumo de etanol foi contabilizado por meio de uma série de ensaios prévios, que levantou a taxa de injeção de etanol para diferentes tempos de aberturas do eletro-injetor. Então montou-se uma tabela de consulta na qual cada tempo de abertura do injetor correspondia a uma determinada vazão, e valores intermediários poderiam ser obtidos por interpolação. A temperatura dos gases de exaustão foi medida com um termopar e monitor Novus modelo 305, com faixa de medição de -50 °C a 1300 °C. Durante o funcionamento do conjunto motor-gerador um analisador de energia Embrasul modelo RE6000 foi empregado para medição da carga do alternador, que ficou em torno de 6 kW, e para ajuste da frequência de geração em 60 Hz, que resultava em uma velocidade de 2600 rpm do motor.

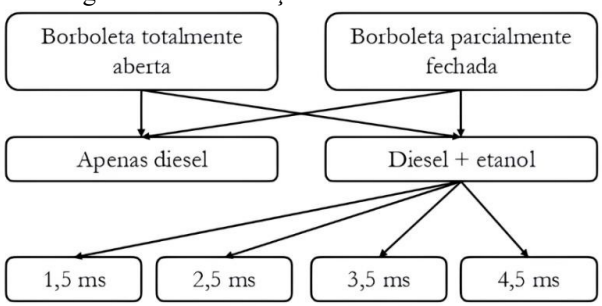
A avaliação da opacidade da fumaça emitida pelo motor foi realizada com um opacímetro Napro NA9000T. O dispositivo é composto por um banco óptico e uma sonda que deve ser inserida diretamente no escapamento. Durante os ensaios a sonda do opacímetro era mantida na extremidade do escapamento para que houvesse a coleta de dados de forma constante. Os dados são enviados automaticamente para um computador no próprio laboratório, que através de um software próprio permite identificar o teor de opacidade dos gases em tempo real. O analisador de gases empregado foi um Greenline 8000 da fabricante Eurotron. O equipamento é do tipo portátil e realizou medições de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx).

Ensaios realizados

Inicialmente o motor foi posto para funcionar com a utilização apenas de óleo diesel para que a temperatura ideal de trabalho fosse atingida e toda a instrumentação e sistemas de controle pudessem ser checados. Após atingir as condições adequadas de funcionamento os dados eram registrados em planilhas específicas elaboradas para esta atividade. As combinações de ensaios realizados são mostradas na Figura 2. O número total de ensaios foi 9, incluindo uma condição de base, apenas com diesel e borboleta aberta.

Para cada ensaio foi atribuída uma abreviatura de identificação que observa as lógicas a seguir: OD_PURO: ensaio utilizando apenas diesel com borboleta aberta; OD_ET_1,5_BA: ensaio empregando diesel (OD) e etanol (ET) com tempo de abertura do eletro-injetor de 1,5 ms (1,5) e com a borboleta aberta (BA). Quando identificado com BF, o ensaio refere-se a borboleta parcialmente fechada. Os detalhes sobre os cálculos de eficiência, consumo de combustível e coeficiente de excesso de ar (lambda) podem ser consultados em Rosa, *et al.*, 2019.

Figura 2 – Combinação de ensaios realizados



Resultados e discussões

A Tabela 1 mostra as vazões de combustíveis e os percentuais de substituição de diesel por etanol, em base mássica, para cada condição ensaiada.

Tabela 1 – Vazão de combustíveis e percentual de substituição

Ensaio	Vazão mássica de diesel (g/s)	Vazão mássica de etanol (g/s)	Percentual de substituição de diesel por etanol
OD_PURO	0.680	0.00	0
OD_ET_1,5_BA	0.533	0.11	17.1%
OD_ET_2,5_BA	0.465	0.21	31.1%
OD_ET_3,5_BA	0.386	0.31	44.5%
OD_ET_4,5_BA	0.320	0.41	56.2%
OD_ET_1,5_BF	0.534	0.11	17.1%
OD_ET_2,5_BF	0.466	0.21	31.1%
OD_ET_3,5_BF	0.392	0.31	44.2%
OD_ET_4,5_BF	0.339	0.41	54.7%

Nota-se que a posição da borboleta teve impacto pequeno nos consumos de combustíveis. Apenas para a maior substituição esta diferença foi acima de 1%. Com relação a eficiência de conversão da energia dos combustíveis em energia elétrica, os resultados são mostrados na Figura 3 juntamente com o consumo específico de combustíveis, em função do percentual de substituição de diesel por etanol. Nota-se uma tendência de elevação da eficiência com o aumento do percentual de etanol. Na condição original, apenas com diesel, a eficiência foi de 21,73%, valor inferior a todos os outros obtidos nos testes com etanol e diesel. Os valores obtidos para eficiência foram maiores quando a borboleta estava plenamente aberta em comparação com os testes de borboleta parcialmente fechada. O consumo específico apenas com diesel foi 391 g/kWh. O consumo com a borboleta fechada foi maior que com a borboleta parcialmente fechada. O aumento de consumo específico observado com o aumento do percentual de etanol deve-se ao menor poder calorífico do etanol, que leva a um consumo mássico maior deste combustível e resultando em um maior consumo de massa total de combustíveis. O fator lambda e a temperatura dos gases de exaustão são mostrados na Figura 4.

Figura 3 – Eficiência e consumo específico

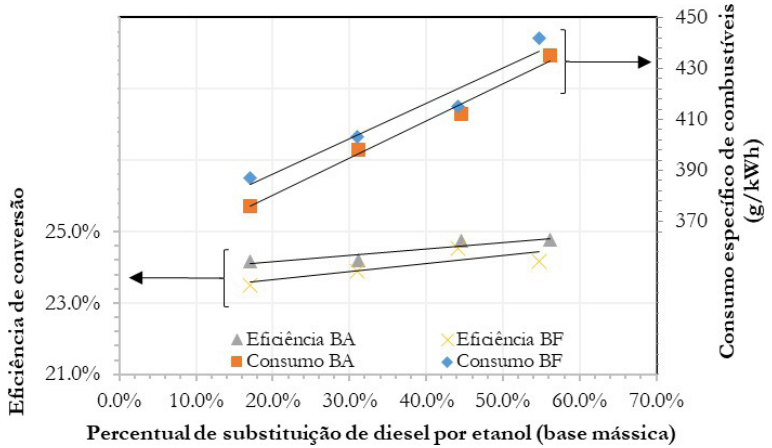
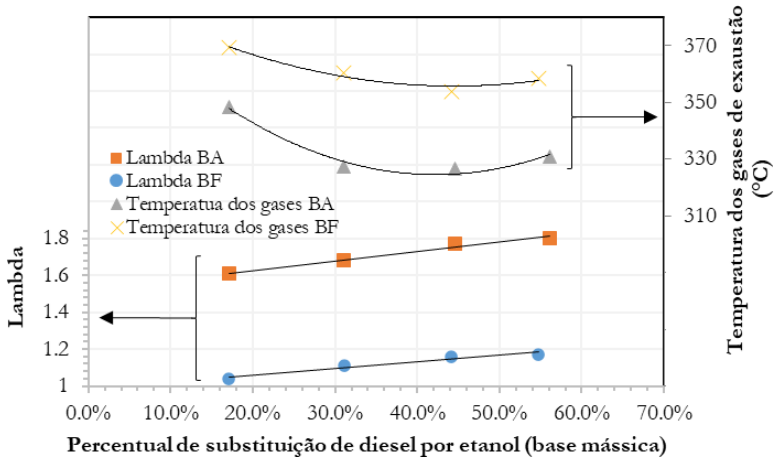


Figura 4 – *Lambda* e temperatura dos gases de exaustão



Efetivamente houve uma redução do fator lambda ao restringir a passagem de ar com a borboleta, conforme esperado. No teste apenas com diesel, lambda foi igual a 1,43. Ao aumentar o percentual de etanol, o fator lambda aumenta, o que ocorre em função da menor relação ar/combustível estequiométrica do etanol em comparação com o diesel. É evidente também que a temperatura dos gases de exaustão tende a reduzir com o aumento da participação do etanol na combustão. Isto pode ocorrer por diferentes motivos: (a) a maior eficiência de conversão resulta em menor energia do combustível dissipada nos gases, causando redução da sua temperatura; (b) o maior valor de lambda, representa maior quantidade de ar sobrando dentro da câmara de combustão, o que

contribui para a diluição da energia liberada na combustão e resfriamento dos gases; (c) o etanol possui elevado calor latente de vaporização, o que reduz a temperatura da carga de ar e combustível admitida pelo motor. Na condição testada apenas com diesel a temperatura dos gases de exaustão foi 378 °C, o maior valor de todos os ensaios.

As emissões de CO e NOx são mostradas na Figura 5. No teste apenas com diesel a emissão de CO foi 762 ppm. A adição de etanol elevou substancialmente as emissões do CO, o que é típico de um processo de combustão incompleta, que pode ser oriundo da menor temperatura de combustão. Quanto maior o percentual de etanol, maior também as concentração de CO nos gases de exaustão. Com relação ao NOx, a concentração no teste apenas com diesel foi 334 ppm e todas os testes com etanol resultaram em valores menores do que este. Os valores das emissões de NOx nos testes com borboleta aberta e parcialmente fechada foram muito próximos, não permitindo alguma conclusão sobre a diferença entre elas.

Por fim, os resultados referentes a opacidade dos gases de exaustão são mostrados na Figura 6. No teste apenas com diesel a opacidade foi de 52,3%. Em todos os testes com etanol, tanto com borboleta aberta quanto com borboleta parcialmente fechada, a opacidade foi menor do que no teste apenas com diesel. Nos testes com borboleta aberta a opacidade foi menor que nos testes com borboleta fechada, o que provavelmente é um resultado da maior disponibilidade de ar dentro do cilindro. A opacidade reduz com o aumento do percentual de etanol, o que é esperado por causa da redução da participação do diesel e consequentemente da quantidade de combustível consumido na fase de combustão difusiva.

Figura 5 – Emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx)

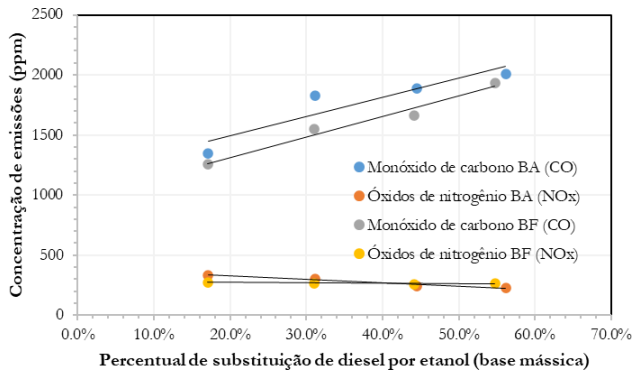
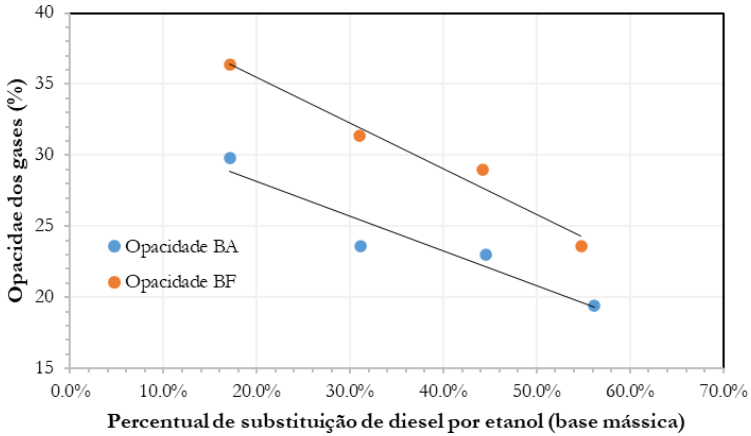


Figura 6 – Opacidade dos gases de exaustão



Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram um desempenho satisfatório na operação do motor em modo dual-fuel, com melhorias em diversos aspectos, incluindo uma redução de aproximadamente 50% na opacidade de materiais particulados e valores inferiores de NOx para todas as vazões de etanol aplicadas. A diminuição de NOx está diretamente relacionada ao aumento do percentual de substituição de diesel por etanol, sendo mais evidente em tempos maiores de injeção de etanol. No entanto, observou-se um aumento significativo de CO, atingindo até 263% em comparação ao uso exclusivo de diesel. A relação ar--combustível ajustada levou a valores de lambda mais próximos ao estequiométrico em ensaios com menor admissão de ar. Além disso, o ensaio com admissão de ar aberta e tempo de 1,5 ms de injeção de etanol apresentou a melhor relação entre consumo de combustível e geração de energia, com uma redução de 4% no consumo. De forma geral, a eficiência térmica foi 9% superior utilizando etanol-diesel em relação operação diesel convencional, apesar das variações nos ensaios decorrentes das alterações no fluxo de etanol e na admissão de ar.

Referências

Bendu, H., & Murugan, S. (2014). Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion: Mixture preparation and control strategies in diesel engines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38, 732–746. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.019

Chuepeng, S., Pirompugd, W., & Sutheerasak, E. (2023). Performance and emissions of a diesel engine fueled with palm oil ethyl ester combined with fumigated

ethanol on a dual fuel mode. Energy Reports, 9, 470–477. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.067

Gültekin, N. (2024). Experimental study of the effects of diesel, bioethanol, and hydrogen on combustion, emissions, mechanical vibration, and noise in a CI engine with different valve lift. InternationalJournalofHydrogenEnergy, 93, 1011–1021. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.012

Imran, A., Varman, M., Masjuki, H. H., & Kalam, M. A. (2013). Review on alcohol fumigation on diesel engine: A viable alternative dual fuel technology for satisfactory engine performance and reduction of environment concerning emission. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 739–751. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.070

Pandey, S., Bhurat, S. S., & Kunwer, R. (2020). Investigation of fumigation of ethanol and exhaust gas recirculation on combustion and emission characteristics of partially premixed charge compression-ignition engine. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1–15. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1868625

Renewable Fuels Association. (2023). Annual Ethanol Production. https://ethanolrfa.org/markets- and-statistics/annual-ethanol-production

Rosa, J. S., Altafini, C. R., Wander, P. R., Telli, G. D., & Rocha, L. A. O. (2019). Wet ethanol fumigation on a compression ignition engine: effects of air intake throttled. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 41(11), 500. https://doi.org/10.1007/s40430-019-2023-1

Rosa, J. S., Lorenzini, G., Altafini, C. R., Wander, P. R., Telli, G. D., & Rocha, L. A. O. (2019). Performance effects and economic viability of high-hydrated ethanol fumigation and diesel direct injection in a small compression ignition engine. Mathematical Modelling of Engineering Problems, 6(1), 1–9. https://doi.org/10.18280/mmep.060101

Smaniotto, M. M., Souza Rosa, J., & Dambros Telli, G. (2024). Study of the influence of adding Al2O3 nanoparticles to biodiesel on the performance and emissions characteristics of a diesel engine. Scientia Cum Industra, 13(1), e241301. https://doi.org/10.18226/23185279.e241301

Telli, G. D., Altafini, C. R., Costa, C. A., Rosa, J. S., Rocha, L. A. O., & Lorenzini, G. (2020). Experimental Study of a Dual-Fuel Generator Set Operating on Diesel Fuel Direct Injected and Hydrous Ethanol Fumigation at Different Loads. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 15(6), 777–784. https://doi.org/10.18280/ijdne.150602

Telli, G. D., Altafini, C. R., Rosa, J. S., & Costa, C. A. (2018). Experimental investigation of a compression ignition engine operating on B7 direct injected and hydrous ethanol fumigation. Energy, 165, 106–117. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.171

Investigação do comportamento da Eletrodiálise aplicada para a remoção de ferro e manganês de águas

Nathália F. Livinalli[1], Wendel P. Silvestre, Jocelei Duarte, Camila Baldasso
[1] *Universidade de Caxias do Sul*

Resumo: A gestão inadequada de efluentes industriais impacta significativamente a qualidade da água, especialmente no Brasil, onde elementos metálicos como ferro (Fe) e manganês (Mn) predominam em muitas bacias hidrográficas. Durante a estiagem, as concentrações desses metais aumentam e, ao entrarem em contato com o oxigênio, causam problemas como alteração na coloração, sabor e até danos a tecidos e equipamentos. Em níveis elevados, esses íons apresentam riscos à saúde. Métodos convencionais de tratamento, como oxidação química e filtração, têm limitações, o que torna a aplicação de agentes quelantes uma alternativa comum. No entanto, tecnologias avançadas, como a eletrodiálise, têm se destacado na remoção desses íons de forma eficiente e com menor uso de produtos químicos e energia. A eletrodiálise utiliza membranas íon-seletivas (catiônicas e aniônicas) para separar cátions e ânions com a ajuda de um campo elétrico, resultando em soluções concentradas e uma permeada sem os íons que se deseja remover. Essa técnica tem sido aplicada em várias áreas, incluindo tratamento de água e remoção de íons. O estudo descrito utilizou a eletrodiálise para remover íons de ferro e manganês em soluções sintéticas, demonstrando uma retenção de até 99,76 % para Mn^{+2} e 98,45 % para Fe^{+2}, com resultados que atendem aos limites da Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde. O processo foi eficaz, reduzindo a concentração desses íons metálicos abaixo dos limites máximos permitidos para água potável.

Palavras-chave: processo de separação por membranas, tratamento de água, potabilidade, membranas íon seletivas

Investigation of the Electrodialysis Behavior Applied to the Removal of Iron and Manganese from Water

Abstract: The inadequate management of industrial waste significantly impacts water quality, particularly in Brazil, where metallic elements such as iron (Fe) and manganese (Mn) are prevalent in many watersheds. During drought periods, the concentrations of these metals increase, and upon contact with oxygen, they cause issues such as changes in color, taste, and even damage to fabrics and equipment. At elevated levels, these metallic ions pose health risks. Conventional treatment methods, such as chemical oxidation and filtration, have limitations, making the application of chelating agents a common alternative. However, advanced technologies, such as electrodialysis, have gained prominence for efficiently removing these metallic ions while requiring less

chemical input and energy. Electrodialysis employs ion-selective membranes (cationic and anionic) to separate cations and anions with the assistance of an electric field, resulting in concentrated solutions and a permeate free of the targeted ions. This technique has been applied across various fields, including water treatment and metal removal. The study described utilized electrodialysis to remove iron and manganese ions from synthetic solutions, demonstrating a retention rate of up to 99.76% for Mn^{2+} and 98.45% for Fe^{2+}, achieving results that comply with the limits established by Ordinance 888/2021 of the Ministry of Health. The process proved effective, reducing the concentrations of these metallic ions below the maximum permissible limits for potable water.

Keywords: membrane separation process, water treatment, potability, ion-selective membranes

Introdução

A gestão inadequada de resíduos industriais, associada a diversas atividades antrópicas, impacta significativamente os recursos hídricos, introduzindo contaminantes que comprometem sua qualidade e a tornam impróprias para o consumo humano. A fim de assegurar a potabilidade da água, é imprescindível que esta atenda aos padrões estabelecidos pela legislação vigente, o que demanda a implementação de tratamentos específicos para sua adequação ao uso (Li *et al.*, 2024).

No Brasil, as características geoquímicas das bacias hidrográficas favorecem a predominância de elementos metálicos, especialmente ferro (Fe) e manganês (Mn), nos sistemas hídricos. Durante períodos de estiagem, as concentrações desses metais tendem a se elevar. Quando expostos ao oxigênio atmosférico, esses elementos sofrem oxidação, conferindo à água distribuída características indesejáveis, como alterações na coloração e sabor. Além disso, a presença de ferro e manganês pode causar danos, tais como manchas em tecidos e equipamentos sanitários, incrustações nas redes de distribuição, deterioração de maquinários industriais e alteração na coloração de plantas. Em níveis elevados, esses metais podem representar riscos à saúde humana, afetando o sistema neurológico e muscular (Almeida *et al.*, 2019).

A remoção de íons de ferro e manganês continua sendo um desafio em escala global. Os métodos convencionais de tratamento, que geralmente envolvem etapas de oxidação química seguidas de filtração, apresentam limitações, pois nem todos os metais precipitam de forma eficaz, e as partículas de óxido de manganês frequentemente possuem diâmetros inferiores aos poros dos filtros empregados no processo. Para contornar tais limitações, uma alternativa amplamente utilizada é a

adição de agentes quelantes, que formam complexos estáveis com os íons, impedindo sua oxidação e precipitação (Li *et al.*, 2024). No Brasil, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888, de 24 de maio de 2021, os limites máximos permitidos para íons de ferro e manganês na água potável são de 0,3 $mg \cdot L^{-1}$ e 0,1 $mg \cdot L^{-1}$, respectivamente.

Uma abordagem avançada, que se destaca pela eficiência no uso reduzido de produtos químicos e energia, é a aplicação de processos de separação por membranas. Esses processos envolvem o uso de uma barreira seletiva, denominada membrana, que bloqueia a passagem de íons específicos, resultando na purificação da água (Habert *et al.*, 2006). Dentre as tecnologias que se inserem nesse contexto, a eletrodiálise se destaca. Essa técnica consiste em um sistema de membranas íon-seletivas, dispostas alternadamente entre dois eletrodos, configurando compartimentos que se dividem em zonas concentradas e diluídas de eletrólitos. A energia necessária para o processo é fornecida pela diferença de potencial elétrico gerada entre os eletrodos com cargas opostas.

As membranas íon-seletivas, caracterizadas por sua carga iônica, são classificadas em catiônicas e aniônicas. Quando uma solução é conduzida por esse sistema, com a aplicação de um campo elétrico, os cátions são atraídos em direção ao cátodo, o eletrodo com carga negativa. Assim, os íons com carga positiva atravessam livremente as membranas catiônicas, mas são retidos pelas membranas aniônicas. Da mesma forma, os ânions migram em direção ao ânodo, o eletrodo positivo, atravessando as membranas aniônicas e sendo retidos pelas catiônicas (Habert *et al.*, 2006).

Ao processar uma solução por meio da técnica mencionada, geram-se duas novas soluções: uma com maior concentração e outra com menor concentração dos analitos presentes na solução original. Pesquisas recentes destacam a aplicação da eletrodiálise em diversas áreas, como no tratamento de águas, dessalinização, geração de energia, tratamento de efluentes, concentração e remoção de metais em altas concentrações (Sedighi *et al.*, 2024), evidenciando a versatilidade e eficácia dessa tecnologia.

A presente pesquisa visa a aplicação da eletrodiálise para remoção de íons Mn^{2+} e Fe^{2+} em um sistema de membranas catiônicas e aniônicas para soluções sintéticas dos metais, sem interferentes, com o objetivo de alcançar os índices de retenção que atendam a legislação vigente pela portaria 888/2021 para água de abastecimento público.

Material e métodos

Materiais

Foram feitas três soluções de alimentação usando 50 mg de sal e 1 L de água destilada. A solução 'A' continha íons Mn^{2+} e foi sintetizada a partir de sulfato de manganês (II) monohidratado P.A. ($MnSO_4 \cdot H_2O$) com grau de pureza 98 – 101 % da marca Synth®; a solução 'B' com íons de Fe^{2+} derivados de sulfato de ferro (II) heptahidratado P.A. ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), com grau de pureza de 99 % da marca Dinâmica Ltda® e a 'C' contém ambos os íons e foi produzida com 50 mg de cada sal em 1 L de água destilada. Além das soluções de alimentação A, B e C, no teste de eletrodiálise, foi usada uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 $mol \cdot L^{-1}$, adicionada de 1 – 3 gotas (0,05 a 0,15 mL) na alimentação para igualar os valores de condutividade elétrica dos compartimentos do sistema. Outra solução foi a de cloreto de sódio (NaCl), 50 $mg \cdot \cdot L^{-1}$, aplicada como solução de eletrodo, nos compartimentos anódico e catódico, a concentração utilizada foi igual à concentração das soluções de estudo.

Membranas íon-seletivas

Foram utilizadas duas membranas no sistema de eletrodiálise, a membrana catiônica (rosa) e a membrana aniônica (verde), as cores das membranas estão visíveis na Figura x, que foram representadas nesse trabalho pela sigla MC e MA respectivamente. O modelo das membranas era HDX100 (catiônica) e HDX200 (aniônica), da Hydrodex®. As propriedades das membranas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades das membranas Hydrodex® (HDX100 e HDX200)

Parâmetro	Unidade	HDX100 (catiônica)	HDX200 (aniônica)
Área de contato	cm^2	12,25	12,25
Espessura	μm	740	650
Resistência elétrica (0,1N NaCl)	$\Omega \cdot cm^{-2}$	≤ 20	≤ 20
Permeabilidade de água	$mL \cdot h \cdot cm^{-2}$	≤ 0,1 (> 2 MPa)	≤ 0,2 (> 0,035 MPa)

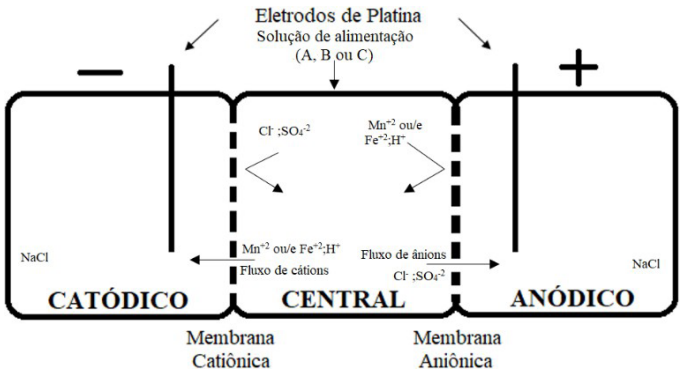
Métodos

Os ensaios com o processo de eletrodiálise aconteceram em escala laboratorial, em uma cela com três compartimentos, o anódico (+), o catódico (-) e o central, onde localizava-se a solução de estudo. A cela de acrílico transparente, continha três compartimentos de 125 mL cada. O esquema do processo e da dissociação dos íons encontra-se na Figura 1.

A diferença de potencial elétrico foi aplicada pela ligação de eletrodos de platina, com área de 2,75 cm^2 e 0,18 mm de espessura, com cargas opostas, dispostos nos compartimentos extremos da cela, a uma fonte de corrente contínua 300STD da GSR®, assim, ajustava-se os parâmetros de corrente (até 400 mA), de potencial elétrico (até 300 V) e potência (até 120 W). Durante os testes, monitorou-se o pH, e a condutividade elétrica por meio dos equipamentos pHmetro mPA-210 da MS Tecnopon® e condutivímetro DM-3P da Digimed®. A temperatura durante os testes permaneceu em 23±2 °C, em ambiente controlado.

Com o intuito de minimizar a polarização por concentração, promoveu-se a agitação magnética da cela, com o agitador magnético da VELP Scientifica®. A determinação do valor de corrente limite nesta pesquisa ocorreu segundo o método de Cowan e Brown, que orientam o traço da curva de estudo pela relação do potencial elétrico com a corrente aplicada (V/I) em função do inverso da corrente (1/I). Dessa forma, a curva inicialmente tem um comportamento linear inverso, até formar um platô, que marca o início do fenômeno de polarização, no primeiro ponto de inflexão está o valor de corrente limite.

Figura 1 – Fluxograma do processo de eletrodiálise em escala laboratorial



Fonte: Adaptado de Peretti (2006).

O ensaio de obtenção de dados para a construção dessa curva foi feito pela variação da corrente elétrica aplicada (mA) que gera diferentes valores de potenciais coletados (V). A corrente foi variada até alcançar o valor máximo de potencial elétrico permitido pela fonte (300 V). A quantificação do teor de retenção de íons do sistema de ED foi realizada de duas formas. Primeiramente, com o monitoramento da condutividade dos três compartimentos ao longo do ensaio de retenção em intervalos de 20 min, calculado pela equação 1, indicada por Casademont *et al.* (2009).

$$\%\, DR = \left(\frac{ke_0 - ke_t}{ke_0}\right) \times 100\,\% \quad (1)$$

Onde % DR é o percentual de desmineralização, ke_0 e ke_t são os valores de condutividades iniciais e em determinado tempo de processo respectivamente. A segunda forma de monitorar a retenção foi a análise da concentração de manganês e/ou ferro no compartimento central anterior e após o processo de ED, o cálculo foi dado pela equação 2, que determina o percentual de retenção (%R) em função da concentração dos íons , sendo C_1 a concentração inicial de cada íon da solução de alimentação e C_F a concentração ao final do processo.

$$\%R = \frac{C_1 - C_F}{C_1} \times 100\% \quad (2)$$

Resultados e Discussão

Corrente limite

Os valores de corrente limite foram determinados pela construção das curvas corrente-potencial de cada solução na temperatura controlada de 23±2 °C. A definição da corrente elétrica aplicada nos ensaios de desempenho da eletrodiálise utilizou 80 % do valor da densidade de corrente limite determinada, de modo a garantir a operação na primeira região da curva corrente-potencial. As informações referentes à densidade de corrente limite, à corrente elétrica sugerida e à corrente elétrica adotada para cada solução analisada estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores obtidos de corrente limite e corrente aplicada no processo de eletrodiálise.

Solução	1° Ponto de inflexão (mA)	80 % da corrente limite (mA)	Corrente elétrica aplicada (mA)
A	10	8,0	4
B	12	9,6	6
C	12	9,6	6

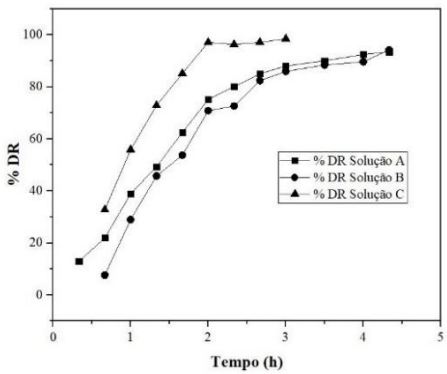
Os valores obtidos para a densidade de corrente limite foram relativamente próximos e baixos, o que se deve ao fato de as soluções estudadas serem sintéticas e de baixa concentração, resultando em uma menor quantidade de íons disponíveis no sistema.

Diante dessa constatação, concluiu-se que a aplicação de 80 % da densidade de corrente limite poderia não ser a abordagem mais eficaz para ensaios de longa duração e maior precisão. Isso, porque, com o aumento da corrente aplicada, os íons tendem a se deslocar mais rapidamente, provocando uma queda acelerada da corrente ao longo do experimento. Dessa forma, foram escolhidos valores de 4 mA e 6 mA para as soluções A, B e C, respectivamente, com o objetivo de proporcionar uma retenção iônica mais gradual e controlada, permitindo uma avaliação mais detalhada das variações nos parâmetros ao longo do tempo.

Retenção de íons

O percentual de desmineralização (% DR) foi obtido pela equação 1 durante o ensaio com cada solução. As curvas de % DR pelo tempo de processo estão expostas na Figura 2.

Figura 2 – Curvas de percentual de desmineralização versus tempo de processo.



Os testes conduzidos para todas as soluções revelaram variações ascendentes e mais espaçadas nos percentuais de desmineralização (% DR) durante as primeiras horas do processo. Com a redução gradual da concentração de íons no compartimento central, o processo se aproximou da finalização, caracterizada pela tendência da condução de corrente elétrica a zero, momento em que os valores de % DR tornaram-se mais uniformes e praticamente constantes. As soluções A e B exibiram comportamentos análogos, com um tempo total de operação de 4 h e 20 min. Por outro lado, a solução C, contendo ambos os íons em análise, apresentou uma desmineralização mais eficiente em um intervalo de tempo reduzido, resultando em uma duração de 3 h, devido a maior quantidade de íons presente em solução.

Na Tabela 3 encontram-se os valores de retenção obtidos pela avaliação da concentração inicial e final dos íons Mn^{2+} e/ou Fe^{2+} no compartimento central e os percentuais de desmineralização. Os percentuais de retenção foram determinados com base na equação 2.

Tabela 3 – Concentração inicial e final dos íons, percentual de retenção e de desmineralização no sistema de ED.

Solução	A	B	C
Teor de manganês na Alimentação ($mg_{Mn} \cdot L^{-1}$)	14,35	-	19,80
Teor de ferro na Alimentação ($mg_{Fe} \cdot L^{-1}$)	-	17,75	9,24
Teor de manganês no Permeado ($mg_{Mn} \cdot L^{-1}$)	0,03	-	0,06
Teor de ferro no Permeado ($mg_{Fe} \cdot L^{-1}$)	-	0,28	0,13
Retenção total de íons na ED (%)	99,76	98,45	99,32
Percentual de desmineralização – DR (%)	93,00	94,00	98,00

Os resultados obtidos comprovaram a elevada eficiência do sistema de eletrodiálise na remoção de íons. Para a solução A, contendo Mn^{2+}, o sistema atingiu uma taxa de retenção de 99,76 %, reduzindo a concentração inicial de 14,35 $mg \cdot L^{-1}$ para 0,03 $mg \cdot L^{-1}$, valor que está em conformidade com o limite de 0,1 $mg_{Mn} \cdot L^{-1}$ estabelecido pela Portaria MS 888/2021. A desmineralização, considerando a condutividade elétrica, foi de 93 %. Na solução B, com concentração inicial de 17,75 $mg_{Fe} \cdot L^{-1}$, o sistema reduziu os níveis para 0,28 $mg_{Fe} \cdot L^{-1}$, atendendo o limite de 0,3 $mg_{Fe} \cdot L^{-1}$ estipulado pela mesma legislação, resultando em uma taxa de retenção de 98,45 % e uma desmineralização de 94,00 %. Já para a solução C, que continha ambos os íons (Mn^{2+} e Fe^{2+}), as concentrações foram reduzidas de 19,80 $mg_{Mn} \cdot L^{-1}$ e 9,24 $mg_{Fe} \cdot L^{-1}$ para

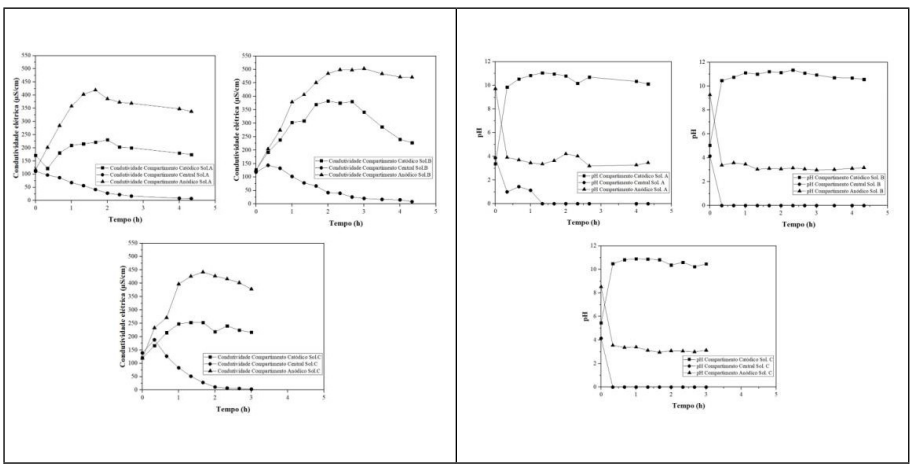
0,06 $mg_{Mn} \cdot L^{-1}$ e 0,13 $mg_{Fe} \cdot L^{-1}$, respectivamente, atingindo 99,32 % de retenção total de íons e 98,00 % de desmineralização. Individualmente, o manganês apresentou retenção de 99,67 %, enquanto o ferro alcançou 98,57 %.

Observou-se que a eficiência do processo aumentou com a elevação da concentração de íons na solução e o número de compartimentos, uma vez que a maior corrente elétrica gerada favorece a migração iônica e, consequentemente, a condutividade do sistema. Os resultados obtidos neste estudo se destacam em comparação com pesquisas anteriores, como as de Gomes *et al.* (2019), que alcançaram 99 % de retenção para Mn^{2+} em uma concentração de 100 $mg \cdot L^{-1}$, e de Cifuentes *et al.* (2009), que obtiveram 99,5 % de retenção de Fe^{2+} para uma solução contendo 500 $mg \cdot L^{-1}$, ambos atendendo às normas regulamentares vigentes.

Variação da condutividade e do pH ao longo do tempo

Os parâmetros de condutividade elétrica e pH foram monitorados em intervalos de 20 min, durante o tempo de ensaio de desempenho do sistema de ED para as soluções de estudo, com a temperatura controlada em 23±2 °C, as curvas foram obtidas pela variação dos valores ao longo do tempo e podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 3 – Curvas de condutividade (A) e pH (B) versus tempo para cada solução estudada no sistema de eletrodiálise



(A) (B)

Os três testes apresentaram padrões semelhantes nas curvas de condutividade elétrica. Nos compartimentos catódico e anódico houve

aumentos iniciais, seguidos por estabilização e subsequente diminuição dos valores de condutividade. No compartimento catódico, os cátions Fe^{2+} e Mn^{2+} migraram em direção ao cátodo, reagindo com a solução de eletrodo e oxigênio, o que diminuiu a condução elétrica. A solução B apresentou um aumento de três vezes na condutividade do compartimento catódico, evidenciando a maior eficiência de condução dos íons Fe^{2+} em comparação com os íons Mn^{2+}.

No compartimento anódico, os ânions SO_4^{2-} e Cl^- migraram para o polo anódico, reagindo com a solução de eletrodo e oxigênio, o que reduziu a condutividade elétrica. No compartimento central, a condutividade diminuiu ao longo dos testes, indicando desmineralização, corroborada pela redução na corrente elétrica aplicada. Esse comportamento foi explicado pelo fenômeno de polarização por concentração e pela diminuição de íons disponíveis para condução no sistema.

O comportamento do pH foi semelhante em todos os testes, sendo analisado separadamente para cada compartimento. No compartimento catódico, o pH inicial variou de 3 a 5 e aumentou rapidamente, alcançando valores próximos a 11 devido à formação de íons hidroxila (OH^-), conforme a reação descrita por Rousseau (1987). No compartimento anódico, o pH inicial variou entre 8 e 10, mas rapidamente caiu para valores próximos a 3 devido à formação de íons hidrônio (H_3O^+), conforme a reação representada também por Rousseau (1987). Já no compartimento central, o pH inicial foi de cerca de 4 e diminuiu drasticamente durante o processo, atingindo valores inferiores a 1, comportamento explicado pela predominância de íons hidrônio sobre os íons hidroxila, como descrito por Baldasso (2011).

Reações químicas e geração de depósitos nas membranas íon-seletivas

Durante os testes com o sistema de eletrodiálise, foram observadas reações eletroquímicas. Nas soluções com sulfato de manganês e ferro, ocorreu a dissolução dos sais, liberando os íons no meio aquoso, conforme as equações 3 e 4. Esses íons podem se depositar no cátodo, como mostrado nas equações 5 e 6, ou se dissolver, de acordo com as equações 7 e 8. Além disso, a reação do Mn^{+2} com a água pode gerar produtos intermediários, como óxido de manganês (MnO) ou hidróxido de manganês II ($Mn(OH)_2$), conforme descrito na equação 9. Para o ferro, pode ocorrer a formação de hidróxido de ferro II, óxido de ferro

III ou gás hidrogênio, conforme a equação 10 (Zhou *et al.*, 2001). Os eletrodos utilizados no sistema não apresentaram sinais de oxidação durante os experimentos.

$$FeSO_{4\,(aq)} \xrightarrow{H_2O} Fe^{+2}_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)} \quad (3)$$

$$MnSO_{4\,(aq)} \xrightarrow{H_2O} Mn^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)} \quad (4)$$

$$Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{0\,(s)} \quad (5)$$

$$Fe^{+2}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{0\,(s)} \quad (6)$$

$$Mn_{0\,(s)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \quad (7)$$

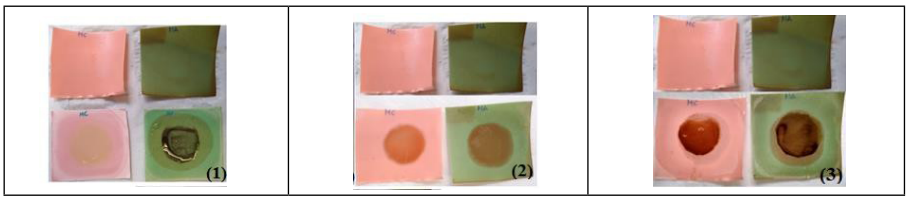
$$Fe_{0\,(s)} \rightarrow Fe^{+2}_{(aq)} + 2e^- \quad (8)$$

$$Mn^{2+}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow MnO_{(s)} + H_{2\,(g)} \quad (9)$$

$$2\,Fe^{+2}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2\,Fe(OH)_{2\,(s)}\ ou\ Fe_2O_{3\,(s)} + 3\,H_{2\,(g)} \quad (10)$$

As reações mencionadas podem ser verificadas pela presença dos subprodutos ou produtos formados, que se acumularam nas membranas. A Figura 4 mostra as membranas iônicas antes e após os testes realizados com o sistema de eletrodiálise. No experimento com a solução A (1), observou-se a formação de precipitado na membrana aniônica, o qual provavelmente é óxido de manganês ou o próprio manganês metálico. No teste com a solução B (2), houve deposição em ambas as membranas, com uma coloração alaranjada, indicando a formação de hidróxido de ferro II. Por fim, na solução C, foram encontrados precipitados tanto de ferro quanto de manganês nas duas membranas. A formação de precipitado, especialmente na membrana aniônica, é atribuída ao fenômeno de scaling, causado pela alta concentração de cátions. Esse processo eleva a resistividade do sistema, comprometendo a permeabilidade seletiva da membrana (Arsand, 2005).

Figura 4 – Membranas íon-seletivas antes e após os ensaios de eletrodiálise



Nota: (1) membranas íon-seletivas antes e após o ensaio com a solução A; (2) membranas íon-seletivas antes e após o ensaio com a solução B; (3) membranas íon-seletivas antes e após o ensaio com a solução C.

Conclusão

A eletrodiálise se mostrou uma solução promissora para a remoção eficiente de ferro e manganês de águas contaminadas, alcançando altos índices de retenção e atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação. Este método também se apresentou como uma alternativa mais sustentável ao exigir menos uso de produtos químicos e energia. Assim, a eletrodiálise pode ser considerada uma tecnologia viável para melhorar a qualidade da água, especialmente em regiões afetadas pela presença de metais em níveis elevados.

Referências

ALMEIDA, A. B. B. *et al.* Concentration of iron and manganese in water supply in the municipality of Crato, Ceará: Characterization and proposal of treatment. **Aguas Subterraneas,** v. 33, 2019.

ARSAND, D. Eletrodiálise, uma tecnologia limpa no tratamento de efluentes. 1 ed. Cruz Alta, RS: UNICRUZ, 2005.

BALDASSO, C. **Fracionamento dos componentes do soro de leite através da tecnologia de separação por membranas.** 2011. 310 f. Tese – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2011

BRASIL, Ministério da Saúde**. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 07 mai. 2021. 29 p.

CASADEMONT, C. *et al.* Electrodialysis of model salt solution containing whey proteins: Enhancement by pulsed electric field and modified cell configuration. **Journal of Membrane Science**, v. 328, n. 1–2, p. 238–245, 2009.

CIFUENTES, L. *et al.* The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from $CuSO_4$-H_2SO_4-Fe solutions. **Separation and Purification Technology**, v. 68, p. 105–108, 2009.

GOMES, B. C. D. C. *et al*. Análise Quantitativa Da Concentração Do Íon Mn^{+2} Nas Soluções Diluída E Concentrada Na Eletrodiálise. p. 686–692. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2019, Uberlândia – MG. **Anais [...].** Uberlândia – MG: COBEQ, 2019.

HABERT, S. C. *et al*. **Processos de Separação por Membranas.** 1 ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006.

LI, K. *et al*. Induced crystallization for the simultaneous removal of hardness-iron–manganese in groundwater: An experimental study. **Environmental Research**, v. 245, 15 mar. 2024.

PERETTI, F. A. **Avaliação da técnica de eletrodiálise para a separação de ácido lactobiônico produzido por via biotecnológica**. 2006. 83 f. Dissertação – Programa De Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade de Caxias do Sul, UCS – Caxias do Sul, 2006.

ROUSSEAU, R. W. **Handbook of Separation Process Technology.** John Wiley & Sons, 1987. SEDIGHI, M. *et al.* Environmental sustainability and ions removal through electrodialysis desalination: Operating conditions and process parameters. **Desalination**., 1 mar. 2023.

ZHOU, M. *et al*. Reactions of Mn with H_2O and MnO with H_2. Matrix-isolation FTIR and quantum chemical studies. **Journal of Physical Chemistry A**, v. 105, n. 24, p. 5801–5807, 2001.

Avaliação da corrente limite em função da concentração de níquel no processo de eletrodiálise

Eduardo Antônio Zanella[1], Camila Baldasso[2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul – PGEPROTEC /eazanella@ucs.br*
[2] *Universidade de Caxias do Sul – PGEPROTEC /cbaldasso@ucs.br*

Resumo: Efluentes industriais frequentemente contêm metais pesados que necessitam de tratamento adequado para atender às normas ambientais, sendo a eletrodiálise uma abordagem promissora para tratar esses efluentes. Um parâmetro que deve ser determinado para promover a eficiência desse processo é a corrente limite. Com isso, este trabalho teve como objetivo determinar a corrente limite em soluções contendo níquel nas concentrações de 50, 100, 250 e 500 $mg.L^{-1}$. Os ensaios foram realizados em uma célula de eletrodiálise de três compartimentos (anódico, catódico e central) utilizando soluções preparadas com sulfato de níquel (II) heptahidratado e cloreto de sódio. Foram empregadas membranas catiônica e aniônica, além de eletrodos de platina, sob agitação e temperatura controladas (23°C) e diferentes tensões foram aplicadas para obtenção das correntes correspondentes, monitorando-se pH e condutividade, sendo os ensaios realizados em triplicata para garantir reprodutibilidade. Os resultados encontrados mostraram que a corrente limite aumenta com a concentração de níquel em solução, devido ao maior transporte de íons em concentrações mais elevadas. Foi possível determinar que o aumento da corrente limite era linear com o aumento da concentração, sendo essa linearidade confirmada pelo coeficiente de determinação (R^2) próximo a 1. Assim, foi possível confirmar a dependência da corrente limite com a concentração de metais em solução, sendo esses parâmetros diretamente proporcionais, e entender que a determinação da corrente limite é uma ferramenta eficiente para compreender e otimizar o transporte iônico na eletrodiálise.

Palavras-chave: Efluentes industriais. Transporte iônico. Eficiência eletroquímica.

Evaluation of the limit current as a function of nickel concentration in the electrodialysis process

Abstract: Industrial effluents often contain heavy metals that require proper treatment to comply with environmental standards, with electrodialysis being a promising approach for treating these effluents. One key parameter to enhance the efficiency of this process is the limiting current. Thus, this study aimed to determine the limiting current in solutions containing nickel at concentrations of 50, 100, 250, and 500 mg/L. The experiments were conducted in a three-compartment electrodialysis cell (anodic, cathodic, and central) using solutions prepared with nickel(II) sulfate heptahydrate and sodium chloride.

Cationic and anionic membranes were employed, along with platinum electrodes, under controlled agitation and temperature conditions (23°C) and different voltages were applied to obtain the corresponding currents, with pH and conductivity monitored throughout with the experiments being performed in triplicate to ensure reproducibility. The results showed that the limiting current increases with the concentration of nickel in solution, due to the higher ion transport at higher concentrations. It was determined that the increase in the limiting current was linear with the rise in concentration, with this linearity confirmed by a determination coefficient (R^2) close to 1. Thus, it was possible to confirm the dependence of the limiting current on the metal concentration in solution, with these parameters being directly proportional, and to understand that determining the limiting current is an efficient tool to comprehend and optimize ion transport in the electrodialysis process.

Key words: Industrial effluents. Ionic transport. Electrochemical efficiency.

Introdução

A gestão e o tratamento de efluentes industriais representam desafios significativos no desenvolvimento sustentável, especialmente em setores onde há descarte de compostos potencialmente tóxicos e que contém metais pesados, como o níquel. Esses compostos, normalmente são provenientes de efluentes de processos dos mais diversos ramos, podendo ser citados a galvanoplastia, o tratamento de superfícies metálicas e a produção de ligas (Yan *et al.*, 2022). Esses efluentes, se não tratados corretamente, podem gerar sérios impactos ambientais e à saúde pública, já que os componentes presentes neles podem se acumular em solos e corpos hídricos. Isso leva à contaminação desses meios, além de afetar ecossistemas e cadeias alimentares, afetando também o ser humano e ocasionando problemas de saúde, desde mais simples como dermatites, até mais graves como o câncer. Com isso, o interesse pela remoção, seguida da possível recuperação de metais desses efluentes se intensificou, visto que, eles são recursos valiosos, e isso pode reduzir os impactos ambientais e também gerar benefícios econômicos (Liu *et al.*, 2023).

Diversas técnicas podem ser utilizadas na remoção de metais, podendo ser citadas a precipitação química, coagulação seguida de floculação, adsorção, dentre outras. Entre as tecnologias empregadas para a remoção de metais, a eletrodiálise surge como uma alternativa promissora, diferenciando-se das outras técnicas por não gerar tantos resíduos no seu processo. Além disso, ela permite a separação seletiva de íons metálicos e facilita a recuperação de elementos como o níquel, que são de difícil tratamento pelos métodos convencionais, possibilitan-

do que se alcancem valores de metais em efluentes que se enquadrem nos limites das legislações que tratam sobre descarte de efluentes, tanto nacional quanto estadual (Silvestre; Baldasso, 2022; Wang *et al.*, 2021).

A eletrodiálise é um processo em que se utilizam membranas íon-seletivas e uma corrente elétrica para promover a separação e concentração de íons específicos em soluções aquosas. Nesse processo, as membranas encontram-se localizadas entre dois eletrodos, nos quais será aplicada a corrente (força motriz do processo). O princípio desse processo é o da atração ou repulsão eletrostática, que faz que se tenha uma seletividade dos íons que se desejam trabalhar. Ao final do processo de eletrodiálise, obtêm-se uma corrente de permeado, com poucas espécies do metal, e uma de concentrado, para a qual os metais se deslocam (Wang *et al.*, 2021; Cerrillo-Gonzalez *et al.*, 2023).

Assim, no processo de eletrodiálise os cátions (íons positivos) são transportados em direção ao cátodo (polo negativo), enquanto que os ânions (íons negativos), se direcionam para o anodo (polo positivo). As membranas de troca catiônica, carregadas negativamente por grupos SO^{3-} ou COO^{-}, permitem somente a passagem de espécies catiônicas. De forma oposta, as membranas de troca aniônica, carregadas positivamente por grupos quaternários de amônio, permitem apenas a passagem de espécies aniônicas (Livinalli, 2021). Quando aplicado no tratamento de efluentes contendo metais pesados, o processo é capaz de transferir os íons metálicos para a fase concentrada, possibilitando a recuperação do metal e a redução de sua concentração no efluente tratado (Kim *et al*., 2022).

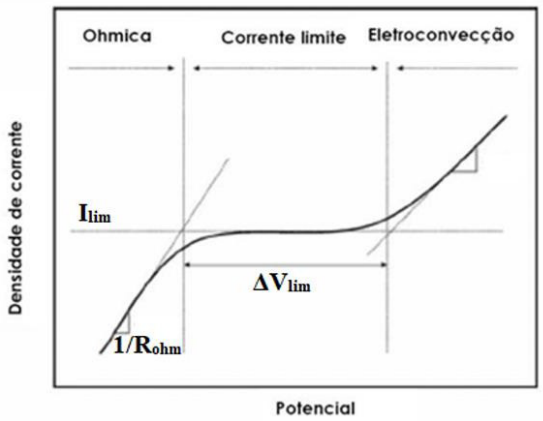
O desempenho desse processo está diretamente relacionado a um parâmetro chamado de corrente limite, que indica o ponto máximo de corrente que pode ser aplicado antes de ocorrer fenômenos indesejados, como a polarização por concentração ou a precipitação dos íons nas membranas. Assim, ela pode ser definida como o valor de corrente elétrica em que o transporte de íons através da membrana atinge um máximo, além do qual ocorre o esgotamento de íons próximos à superfície da membrana e se formam camadas de difusão que dificultam o transporte adicional de íons. A operação em corrente limite é um desafio em projetos de eletrodiálise, pois embora taxas de corrente mais elevadas possam intensificar a remoção dos íons metálicos, há um limite para essa intensificação antes que o processo se torne ineficaz ou até

prejudicial para as membranas BALDASSO, 2011; BALDASSO *et al.*, 2014).

Dessa forma, a determinação da corrente limite desempenha um papel de extrema relevância na eficiência da eletrodiálise. Esse parâmetro é altamente dependente da concentração dos íons metálicos presentes no efluente. Em termos gerais, a corrente limite será maior em efluentes com maior concentração de metais, visto que, há uma maior disponibilidade de íons para serem transportados na solução. De forma análoga, à medida que a concentração de íons diminui, a corrente limite também é reduzida. Assim, o processo de eletrodiálise deve ser operado com um controle preciso para evitar condições que possam degradar as membranas ou diminuir a eficiência da separação (Feijoo, 2019).

Uma maneira de realizar a determinação da corrente limite é pelo método sugerido por Cowan e Brown (1959). Nele, a tensão é aumentada em pequenos valores, e com isso, cada tensão terá uma corrente como resposta. Serão formadas três regiões: a primeira, que representa a resistência ôhmica, apresenta característica linear até o ponto onde começa a ocorrer a polarização por concentração; a segunda, em que se está diante da corrente limite, na qual ocorre a formação de um platô, devido a redução dos íons na camada limite; a terceira na qual a corrente aumenta linearmente devido a dissociação da água e fornecimento de íons à solução, gerando uma eletroconvecção. Um exemplo de gráfico formado pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Curva densidade de corrente em função do potencial para determinação da corrente limite



Fonte: Baldasso (2011).

Dessa forma, o presente trabalho apresenta como proposta avaliar como a corrente limite se comporta com soluções de alimentação contendo diferentes concentrações de níquel (50, 100, 250 e 500 mg.L-1). A pesquisa visa o entendimento da relação entre concentração e corrente limite, com foco no níquel, tópico pouco abordado atualmente pela literatura, buscando entender se existe um padrão na relação entre essas variáveis, e como isso pode ser aplicado em pesquisas futuras.

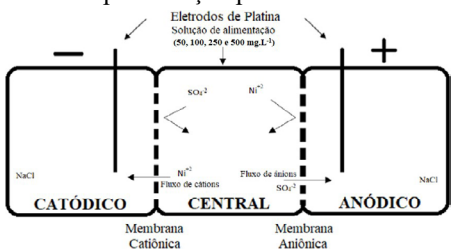
Materiais e Métodos

Os ensaios de eletrodiálise foram realizados em um sistema contendo 3 compartimentos, o anódico, o catódico e o central (no qual foram adicionadas as soluções de alimentação). Os testes foram feitos em escala laboratorial, sendo que cada compartimento possuía um volume de 125 mL. As soluções de alimentação foram preparadas nas concentrações de 50, 100, 250 e 500 $mg.L^{-1}$ de níquel (Ni^{2+}), a fim de simular concentrações de efluentes reais de empresas galvânicas. Sua síntese foi feita a partir de sulfato de níquel (II) heptahidratado ($NiSO_4.7H_2O$) 98 % (Carlo Erba®) em água deionizada.

Nos compartimentos anódico e catódico adicionou-se solução de cloreto de sódio (NaCl) 99 % (Sigma-Aldrich ldrich ®), sintetizado com a mesma concentração da solução de alimentação a ser testada. A condutividade do compartimento central foi igualada aos compartimentos laterais com ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol/L (LIVINALLI, 2021).

O sistema era composto por duas membranas: uma catiônica e uma aniônica. Os modelos das membranas utilizadas foram HDX100 (catiônica) e HDX200 (aniônica), da HIDRODEX®. Os eletrodos utilizados durante o processo de determinação da corrente limite foram de platina. A Figura 2 esquematiza o processo realizado. As propriedades das membranas utilizadas são exibidas na Tabela 1.

Figura 2 – Representação processo de eletrodiálise



Fonte: O Autor (2024).

Tabela 1 – Propriedades das membranas HYDRODEX ® (HDX100 e HDX200)

Parâmetro	Unidade	HDX100 (catiônica)	HDX200 (aniônica)
Área de contato	cm^2	12,25	12,25
Espessura	μm	740	650
Resistência Elétrica (0,1N NaCl)	$\Omega.cm^{-2}$	≤ 20	≤ 20
Permeabilidade de água	$mL.h.cm^{-2}$	≤ 0,1 (abaixo de 2 MPa)	≤ 0,2 (abaixo de 0,035 MPa)

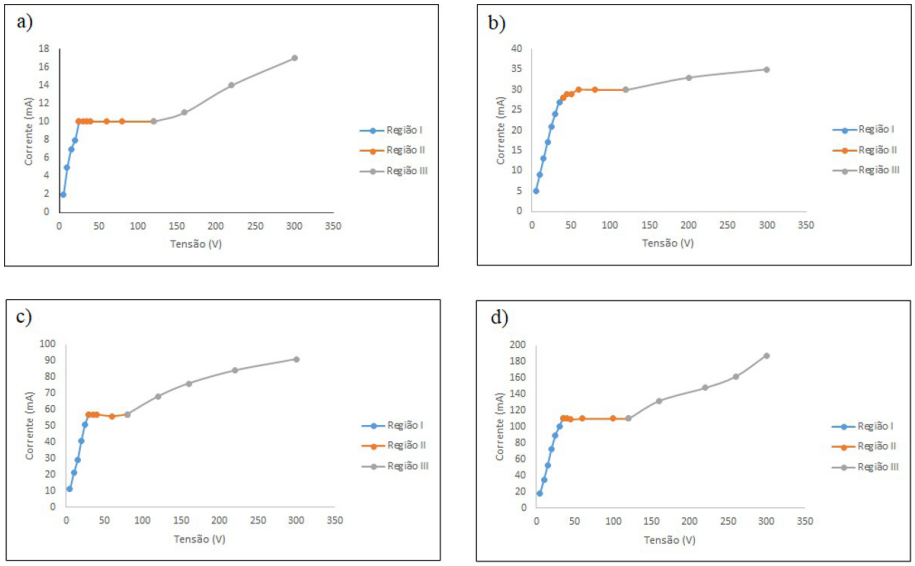
Fonte: O Autor (2024).

Através de uma fonte de corrente contínua (300STD da GSR®), aplicaram-se diferentes tensões para se obterem correntes correspondentes. A diferença de potencial foi aplicada nos eletrodos de platina, localizados nas extremidades das celas e com cargas opostas. Para avaliar a reprodutibilidade do método, os ensaios foram realizados em triplicata para cada concentração. Durante os testes, foram monitorados parâmetros de pH e condutividade, utilizando-se os seguintes equipamentos: pHmêtro mPA-210 da MS Tecnopon® e condutivímetro DM-3P da Digimed®. A temperatura foi mantida constante (23ºC), sendo os testes feitos em ambiente controlado. Todos os testes foram realizados sob agitação para evitar a polarização por concentração, utilizando-se de um agitador magnético da VELP scientifica®. Uma vez obtidos os valores de tensão e corrente, os gráficos foram plotados para realizar a determinação da corrente limite.

Resultados e Discussão

Dados de tensão e corrente foram avaliados durante o processo de eletrodiálise para as diferentes soluções preparadas. Para cada concentração, foram realizados três ensaios para determinação da corrente limite. Na Figura 3 apresenta-se uma representação dos gráficos obtidos para as diferentes concentrações testadas, nos quais o eixo das abcissas representa valores de tensão (E), em volts (V), enquanto o das ordenadas representa a corrente (I), em miliampéres (mA).

Figura 3 – Representação dos gráficos de corrente limite, obtidos pela corrente (mA) em função da tensão (V) para diferentes concentrações de níquel: a) 50 mg.L^{-1}; b) 100 mg.L^{-1}; c) 250 mg.L^{-1}; d) 500 mg.L^{-1}.



Fonte: O Autor (2024).

A partir da Figura 3 é possível observar a formação de três regiões em todas as concentrações testadas. Na primeira região nota-se um padrão linear entre a tensão e a corrente. Na segunda região ocorre a formação do platô, indicando o valor da corrente limite a ser estudada. A Tabela 2 traz os valores de corrente limite encontrados para os testes aplicados, bem como a média das análises realizadas. A terceira região traz um padrão praticamente linear, devido à dissociação da água. As regiões encontradas estão de acordo com a literatura trazida por autores como Livinalli (2021), Baldasso (2011) e os criadores do método utilizado para a realização dos experimentos, Cowan e Brown (1959).

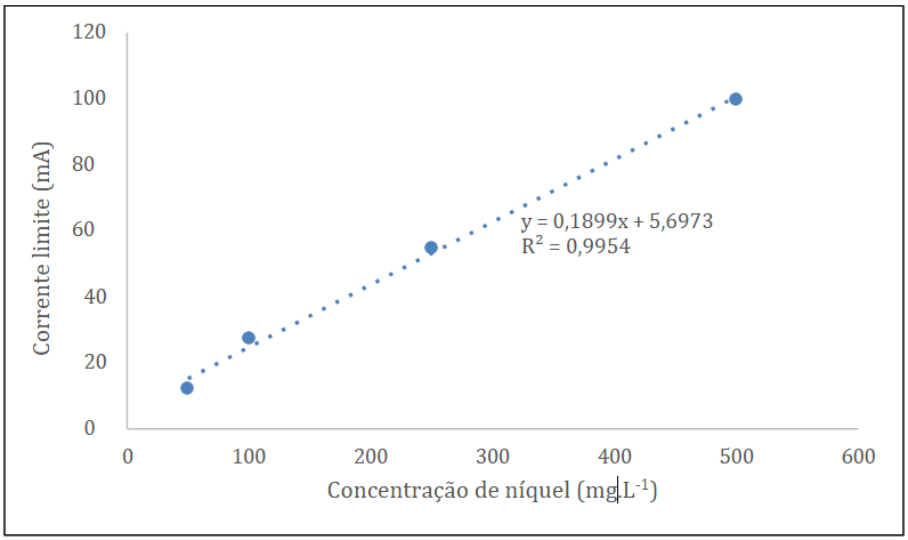
Tabela 2 – Valores de corrente limite obtidos para cada ensaio

Concentração (mg.L^{-1})	50	100	250	500
Teste 1	10	23	57	97
Teste 2	12	31	52	98
Teste 3	14	28	55	104
Média (mA)	12 (±2,0)	27,33 (±4,04)	54,67 (±2,52)	99,67 (±3,79)

Fonte: O Autor (2024).

Uma vez determinados os valores de corrente limite, foi possível plotar um gráfico com a relação entre a concentração de níquel em solução com sua corrente limite. Essa relação pode ser observada na Figura 4. Pelos dados obtidos é possível observar que a corrente limite aumenta conforme a concentração de níquel presente em solução aumenta. Os dados obtidos estão em conformidade com outros estudos, quando se observa que os experimentos realizados por Feijoo (2019) e Barros *et al.* (2016) tiveram o mesmo comportamento. O metal de pesquisa dos autores citados foram cobalto e cobre, respectivamente. Ambos avaliaram e influência da concentração dos metais na corrente limite, e, assim como nessa pesquisa, perceberam um o aumento da corrente limite com o aumento da concentração de metal. Esse comportamento era esperado, uma vez que quanto maior a concentração do metal em solução, maior será a quantidade de íons livres, e, consequentemente, maior será seu transporte quando aplicada a corrente elétrica

Figura 4 – Relação entre concentração de níquel em solução e corrente limite.



Fonte: O Autor (2024).

Plotado o gráfico, também foi possível observar que a corrente limite apresenta uma relação linear com a concentração de níquel presente em solução, para os valores de concentração das soluções sintetizadas. O valor próximo a 1 do coeficiente de determinação (R^2) confirma essa tendência linear e, dessa forma, conhecendo a equação de

reta, é possível se determinar a corrente limite para qualquer concentração de níquel compreendida entre o intervalo estudado.

Considera-se que a relação linear encontrada só pode ser utilizada no intervalo de concentrações estudado, pois alguns fatores podem interferir quando as concentrações extrapolam esse intervalo, tanto para mais quanto para menos. Assim, em concentrações muito baixas de níquel, pode haver uma queda na eficiência da eletrodiálise, visto que a quantidade de íons presentes não é suficiente para sustentar um transporte iônico eficiente, o que pode limitar a validade da linearidade observada. Já em concentrações muito altas, a formação de complexos iônicos, precipitação ou mudanças na viscosidade da solução podem alterar o comportamento esperado. Além disso, outras condições, como pH, temperatura e presença de impurezas, podem impactar o transporte iônico e, consequentemente, a corrente limite (BENVENUTI, 2012).

Conclusão

Durante a determinação da corrente limite, foram gerados gráficos para as diferentes concentrações, nos quais, consistentemente, observaram-se três regiões distintas, em conformidade com os métodos descritos na literatura. Os dados obtidos experimentalmente demonstram que o aumento da concentração de níquel em solução resulta em um incremento na corrente limite do sistema de eletrodiálise. Esse fenômeno ocorre devido à maior disponibilidade de íons na solução, o que intensifica o transporte iônico quando a força motriz (corrente elétrica) é aplicada. Isso leva a conclusão de que quanto maior a concentração de metal presente em solução, maior será o gasto energético para realização do processo, já que será necessária uma maior quantidade de corrente nele.

Além disso, foi identificado um padrão linear na relação entre a corrente limite e a concentração de íons metálicos, o que representa uma importante simplificação prática. Esse comportamento linear permite que estudos futuros considerem essa proporcionalidade, reduzindo a necessidade de testes preliminares extensivos para determinar a corrente limite. Assim, conhecendo a concentração de metais na solução, é possível calcular a corrente limite de forma mais eficiente e prática.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro e de estrutura à UCS, CAPES, CNPQ e FAPERGS.

Referências

BALDASSO, C. **Fracionamento dos componentes do soro de leite através da tecnologia de separação por membranas.** 2011. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

BALDASSO, C. *et al.* Comparison of different electrodes solutions on demineralization of permeate whey. **Separation Science and Technology**, v. 49, n. 2, p. 179-185, 2014.

BARROS, K. S. *et al.* Determinação da corrente limite através da construção de curvas corrente-voltagem para o tratamento de efluente proveniente da galvanoplastia contendo cobre. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat). 2016.

BENVENUTI, T. **Avaliação da eletrodiálise no tratamento de efluentes de processos de eletrodeposição de níquel.** 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CERRILLO-GONZALEZ, M. M *et al.* Metal recovery from wastewater using electrodialysis separation. **Metals**, v. 14, n. 1, p. 38, 2023.

COWAN, Donald A.; BROWN, Jerry H. Effect of turbulence on limiting current in electrodialysis cells. Industrial and engineering chemistry. **Texas Electric Service Co.,** Fort Worth, Tex, v. 51, n.12, p. 1445-1448, 1959.

FEIJOO, G. C. Aplicação da eletrodiálise para concentração de metais de uma solução sintética multicomponente de uma rota de processamento de minério limonítico visando à recuperação seletiva de cobalto. 2019. 166f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São de Paulo, São Paulo, 2019.

KIM, J *et al.* Metal ion recovery from electrodialysis-concentrated plating wastewater via pilot escale sequential electrowinning/chemical precipitation. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, p. 129879, 2022.

LIU, Y *et al.* Nickel recovery from electroplating sludge via bipolar membrane electrodialysis. Journal of Colloid and Interface Science, v. 637, p. 431-440, 2023.

LIVINALLI, N. F. **Estudo da performance de processos de separação por membranas para remoção de manganês e ferro de águas**. 2021. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

STRATHMANN, H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. **Desalination**, v. 264, n. 3, p. 268–288, 2010.

WANG, C *et al.* Removal of low concentrations of nickel ions in electroplating wastewater by combination of electrodialysis and electrodeposition. **Chemosphere**, v. 263, p. 128208, 2021.

YAN, K *et al.* An efficient Two-Chamber Electrodeposition-Electrodialysis combination craft for nickel recovery and phosphorus removal from spent electroless nickel plating bath. **Separation and Purification Technology**, v. 295, p. 121283, 2022.

Avaliação dos parâmetros de operação durante processo de eletrodiálise para tratamento de uma solução sintética de níquel

Eduardo Antônio Zanella[1], Camila Baldasso[2]
[1]*Universidade de Caxias do Sul – PGEPROTEC /eazanella@ucs.br*
[2]*Universidade de Caxias do Sul – PGEPROTEC /cbaldasso@ucs.br*

Resumo: O aumento da atividade industrial tem elevado a geração de efluentes contendo metais pesados, como o níquel, que apresentam risco ambiental e à saúde humana. Métodos convencionais de remoção possuem limitações, tornando a eletrodiálise uma alternativa promissora. Este estudo avaliou a eficiência da eletrodiálise na remoção de níquel, através da análise da variação da condutividade elétrica ao longo do processo, e também avaliou a variação do pH durante o processo. Os ensaios foram realizados em um sistema de escala laboratorial de três compartimentos, contendo membranas aniônicas e catiônicas e eletrodos de platina. A solução sintética de trabalho foi preparada com sulfato de níquel (II) heptahidratado e as soluções aniônica e catiônica com cloreto de sódio, com condutividade ajustada com ácido clorídrico. A diferença de potencial foi aplicada por uma fonte de corrente contínua, e medições de pH e condutividade foram realizadas a cada 20 minutos. Os resultados mostraram uma redução da condutividade no compartimento central, indicando a remoção dos íons metálicos, enquanto os compartimentos anódico e catódico apresentaram aumento de condutividade devido à migração iônica para eles. O pH no compartimento catódico e central aumentou, enquanto no anódico reduziu, devido à formação de íons hidroxila e hidrônio, respectivamente. Apesar da possível formação de *scaling* nas membranas, o percentual de desmineralização se manteve próximo a 100% nos três testes. O estudo confirma a eficiência da eletrodiálise na remoção de níquel, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais.

Palavras-chave: Transferência iônica. pH e condutividade elétrica. Desmineralização de efluente.

Evaluation of Operating Parameters During the Electrodialysis Process for the Treatment of a Synthetic Nickel Solution

Abstract: The increase in industrial activity has led to a higher generation of effluents containing heavy metals, such as nickel, which pose environmental and human health risks. Conventional removal methods have limitations, making electrodialysis a promising alternative. This study evaluated the

efficiency of electrodialysis in nickel removal by analyzing the variation in electrical conductivity throughout the process, as well as the pH variation. The experiments were conducted in a laboratory-scale three-compartment system containing anionic and cationic membranes and platinum electrodes. The synthetic working solution was prepared with nickel(II) sulfate heptahydrate, while the anionic and cationic solutions contained sodium chloride, with conductivity adjusted using hydrochloric acid. A potential difference was applied using a direct current power source, and pH and conductivity measurements were taken every 20 minutes. The results showed a reduction in conductivity in the central compartment, indicating the removal of metal ions, while the anodic and cathodic compartments exhibited increased conductivity due to ion migration. The pH in the cathodic and central compartments increased, whereas it decreased in the anodic compartment due to the formation of hydroxyl and hydronium ions, respectively. Despite the possible formation of scaling on the membranes, the demineralization percentage remained close to 100% in all three tests. This study confirms the efficiency of electrodialysis in nickel removal, contributing to the development of more effective and sustainable solutions for industrial effluent treatment.

Key words: Ionic transfer. pH and electrical conductivity. Effluent demineralization.

Introdução

O crescente número de indústrias tem intensificado a geração de efluentes contendo substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Entre os contaminantes mais preocupantes estão os metais pesados, como o níquel (Ni^{2+}), frequentemente encontrado em efluentes industriais oriundos de diversos setores, tais como galvanoplastia, mineração, baterias, metalurgia e fabricação de ligas metálicas. O descarte inadequado desses efluentes pode resultar na contaminação de corpos hídricos, solos e biota, pois metais pesados são persistentes e tendem a se acumular na cadeia alimentar. Além disso, sua toxicidade pode causar efeitos adversos em organismos aquáticos e seres humanos, como danos ao sistema nervoso, rins e fígado. Diante desse cenário, torna-se essencial o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias eficazes para a remoção de metais pesados dos efluentes industriais (Rajivgandhi *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021).

No Brasil, a regulamentação ambiental referente ao lançamento de efluentes industriais é estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução CONAMA 430 de 2011. Ela dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, definindo padrões de qualidade e limites máximos para substâncias químicas em corpos hídricos. No caso do níquel, a Resolução diz que o

limite máximo desse metal presente no efluente é de 2 $mg.L^{-1}$. Já no Rio Grande do Sul, existe uma norma específica que dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado. Trata-se da resolução CONSEMA 355 de 2017. Assim como a legislação federal, ela traz limites para a presença de metais em efluentes, e é ainda mais rigorosa, sendo o valor de níquel máximo de 1 $mg.L^{-1}$. Dessa forma, o atendimento a essas regulamentações é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e evitar penalidades às indústrias.

Com isso, diversos métodos são estudados para lidar com a presença desse metal em efluentes de processos de deposição, visando alcançar os valores estabelecidos pelas legislações nacional e/ou estadual. Dentre eles, podem ser citados a precipitação química, adsorção, troca iônica, extração por solvente, eletrodeposição e eletrodiálise (Wang *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2022). A escolha do método a ser utilizado depende da concentração de íons do metal e dos compostos e espécies químicas que estarão presentes junto a ele (Klishchenko, Chebotarova, 2023).

Dentre essas abordagens, a eletrodiálise destaca-se como uma alternativa inovadora e eficiente para a remoção de metais pesados. Diferente de processos convencionais, esse processo utiliza uma corrente elétrica para promover a migração iônica através de membranas seletivas (catiônicas e aniônicas), separando os íons presentes na solução de forma controlada (Wang *et al.*, 2021). Esse processo apresenta algumas vantagens, como menor geração de resíduos, possibilidade de recuperação dos metais presentes na solução de alimentação e baixo consumo de reagentes químicos. Além disso, a eletrodiálise opera de forma mais seletiva e eficiente para a remoção de íons específicos (Kim *et al.*, 2022).

No tratamento de efluentes contendo níquel, a eletrodiálise promove a migração dos íons Ni^{2+} para o compartimento catódico, reduzindo sua concentração na solução inicial de alimentação. Durante esse processo, é possível observar uma diminuição da condutividade elétrica na solução de alimentação, já que a condutividade está diretamente relacionada à presença de íons dissolvidos no meio aquoso (Benvenuti, 2012). Em contrapartida, a condutividade das soluções anódica e catódica tende a aumentar devido ao transporte de íons que ocorre no processo, que tende a se acumular nesses compartimentos. Além da condutividade, o

pH da solução pode sofrer variações ao longo do processo, devido às semi-reações que podem vir a ocorrer (Livinalli, 2021).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da eletrodiálise na remoção de níquel de uma solução sintética que simula um efluente industrial, analisando a variação dos parâmetros físico-químicos durante o processo. A investigação do comportamento da condutividade elétrica e do pH possibilita uma melhor compreensão dos fenômenos eletroquímicos envolvidos.

Materiais e Métodos

Os ensaios foram realizados em escala laboratorial e em triplicata, em um sistema com três compartimentos: anódico, catódico e central. No compartimento central adicionou-se a solução de trabalho, que foi sintetizada a partir de sulfato de níquel (II) heptahidratado ($NiSO_4.7H_2O$) 98 % (Carlo Erba®) em água deionizada, na concentração de 50 $mg.L^{-1}$ de níquel. Nos compartimentos das extremidades (anódico e catódico) adicionou-se solução de cloreto de sódio 99 % (Sigma-Aldrich®), que foi sintetizado na mesma concentração da solução de trabalho. A fim de igualar as condutividades iniciais nos três compartimentos e possibilitar a condução do compartimento central, adicionou-se ácido clorídrico (HCl) 0,1 $mol.L^{-1}$ (Livinalli, 2021).

As membranas utilizadas no processo eram dos modelos HDX100 (catiônica) e HDX200 (aniônica), da HIDRODEX®, sendo o sistema composto por uma membrana aniônica e uma catiônica. Os eletrodos utilizados foram de platina. As propriedades das membranas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades das membranas HYDRODEX ® (HDX100 e HDX200)

Parâmetro	Unidade	HDX100 (catiônica)	HDX200 (aniônica)
Área de contato	cm^2	12,25	12,25
Espessura	µm	740	650
Resistência Elétrica (0,1N NaCl)	$\Omega.cm^{-2}$	≤ 20	≤ 20
Permeabilidade de água	$mL.h.cm^{-2}$	≤ 0,1 (abaixo de 2 MPa)	≤ 0,2 (abaixo de 0,035 MPa)

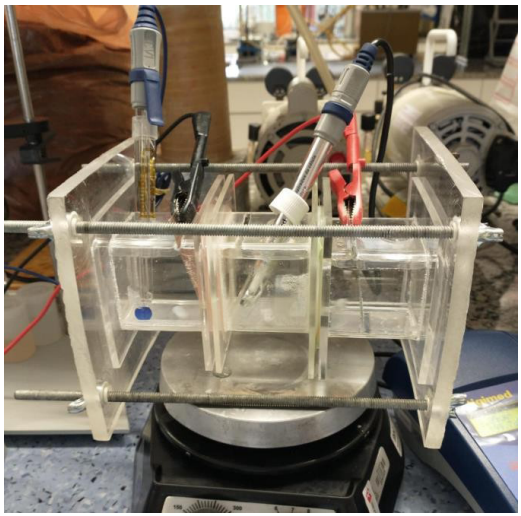
Fonte: O Autor (2024).

A diferença de potencial aplicada no processo se deu através de uma fonte de corrente contínua (300STD da GSR®). Ela foi conectada aos eletrodos de platina, cuja área era de 2,75 cm² e 0,18 mm de espessura. Parâmetros de pH e condutividade foram avaliados em intervalos de 20 minutos, com o auxílio dos equipamentos pHmetro mPA-210 da MS Tecnopon® e condutivímetro DM-3P. Para reduzir a polarização por concentração, também se utilizou de um agitador magnético da VELP scientifica®. O sistema utilizado pode ser visto na Figura 1, onde: à esquerda está o compartimento catódico com eletrodo do pHmetro utilizado, no meio se encontra o compartimento central com a solução sintética de trabalho e o eletrodo do condutivímetro e à direita o compartimento anódico. As ponteiras (preta e vermelha) estavam conectadas à fonte e aos eletrodos de platina.

O percentual de demineralização do compartimento central, ou seja, o quanto de íons eram removidos da solução sintetizada foi calculado a partir da Equação 1, onde %DR é o percentual de desmineralização, ke_0 e ke_t são os valores de condutividades iniciais e em determinado tempo de processo, respectivamente (Casademont *et al.*, 2009).

$$\%\boldsymbol{DR} = \left(\frac{\boldsymbol{ke_0 - ke_t}}{\boldsymbol{ke_0}}\right) * \mathbf{100}\% \quad (1)$$

Figura 1 – Representação sistema de eletrodiálise.

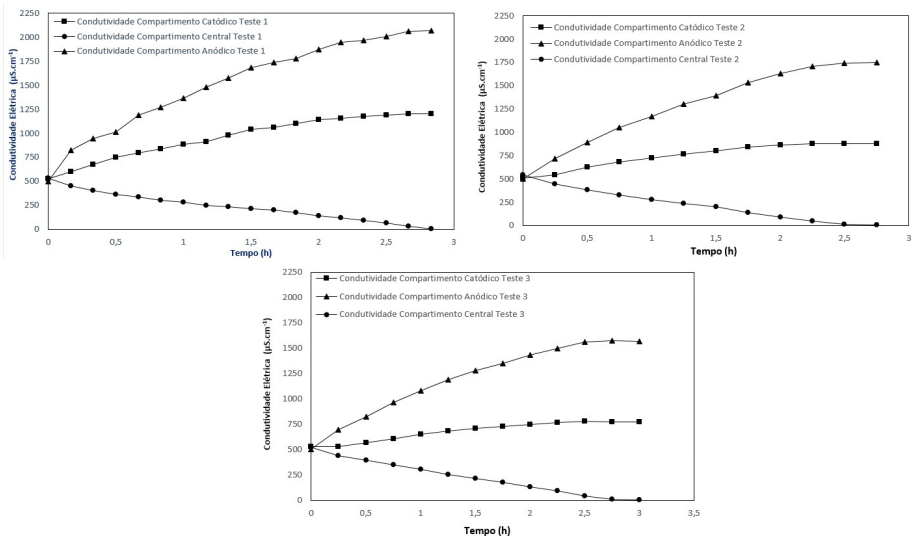


Fonte: O Autor (2025).

Resultados e Discussão

A variação da condutividade elétrica ao longo dos processos foi monitorada em intervalos de 20 minutos, nos três compartimentos. A temperatura foi controlada e mantida em 23 ºC. Os valores de condutividade foram medidos em $\mu S.cm^{-1}$. Realizadas as medições, foi possível obter as curvas de condutividade elétrica em função do tempo em cada um dos ensaios e para todos os compartimentos. Os dados obtidos são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Curvas de condutividade em função do tempo para cada teste estudado utilizando o sistema de eletrodiálise.



Fonte: O Autor (2025).

A partir dos gráficos trazidos na Figura 2 é possível observar que os três testes seguiram a mesma tendência para as curvas de condutividade elétrica. Os valores iniciais de condutividade variaram de 501 a 547 $\mu S.cm^{-1}$, sendo realizado o ajuste da solução de alimentação com ácido clorídrico para proporcionar o equilíbrio do sistema e também possibilitar a condução elétrica.

No compartimento catódico é possível observar um aumento da condutividade elétrica para os três testes. Os valores máximos obtidos para cada teste foram de 1204, 881 e 771 $\mu S.cm^{-1}$, respectivamente. O aumento do valor em relação a condutividade inicial se deve ao deslocamento dos cátions de Ni^{2+} do compartimento central para o catódico.

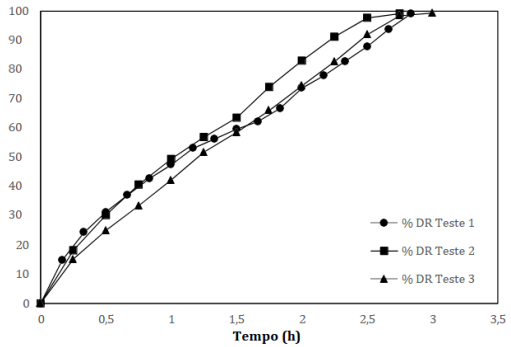
Entre a realização de cada teste, observou-se que o valor da condutividade final reduzia, indicando uma redução da eficiência da membrana. A principal explicação para isso provavelmente está relacionada ao scaling ocasionado na membrana, ou seja, ocorre a incrustação da membrana, sendo ela causada pelos íons de níquel, durante o seu transporte.

No compartimento anódico houve um comportamento semelhante, com o aumento da condutividade para os valores de 2070, 1749 e 1571 $\mu S.cm^{-1}$ nos testes 1, 2 e 3, respectivamente. Os valores superiores aos obtidos no compartimento catódico se devem à um deslocamento maior de ânions SO^{-2} e Cl^{-} do compartimento central para o anódico. De forma análoga ao fenômeno de scaling descrito anteriormente, é possível observar uma redução do aumento da condutividade entre os testes, devido à incrustação da membrana pelos íons sulfato e cloreto.

Por fim, no compartimento central para os três testes a condutividade chega a um valor muito próximo de zero, indicando a ausência de íons metálicos nesse compartimento ao final do processo. As condutividades obtidas foram de 5,45, 3,27 e 2,86 $\mu S.cm^{-1}$, o que indica a desmineralização do sistema. Apesar de ocorrer incrustações, como citado anteriormente, para a remoção de íons de níquel do compartimento central o processo segue mostrando uma boa eficiência, comprovada pela baixa condutividade ao final do processo em todos os três testes.

A forma de avaliação de retenção de íons pelo sistema foi feita utilizando o percentual de demineralização (% DR) dado pela Equação 1. As curvas obtidas de % DR em função do tempo são mostradas na Figura 3.

Figura 3 – Curvas de percentual de demineralização em função do tempo para cada teste estudado utilizando o sistema de eletrodiálise.

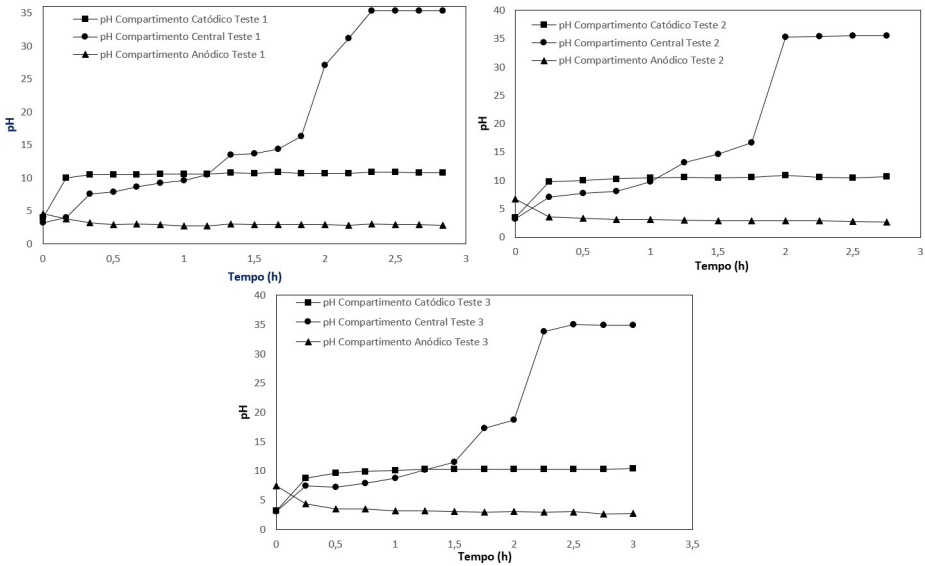


Fonte: O Autor (2025).

Em todos os testes as soluções apresentaram valores crescentes nos valores de % DR. Todas as curvas ficaram semelhantes e os tempos de processo também foram próximos, variando de 2 h e 45 min a 3 h. O sistema apresentou valores de desmineralização próximos a 100 %. Os valores obtidos para os testes 1, 2 e 3 foram de 98,98 %, 99,06 % e 99,29 %, respectivamente.

Assim como a condutividade, o pH dos compartimentos foi medido a cada 20 minutos. A Figura 4 traz os gráficos obtidos do pH em função do tempo para cada um dos compartimentos nos três testes realizados.

Figura 4 – Curvas de pH em função do tempo para cada teste estudado utilizando o sistema de eletrodiálise.



Fonte: O Autor (2025).

Pelos gráficos obtidos é possível observar que o comportamento do pH em cada compartimento foi o mesmo para todos os testes. Diferente das medições de condutividade que mostraram uma perda de eficiência devido ao scaling, os valores de pH obtidos foram praticamente os mesmos nos três testes realizados, mostrando que para esse parâmetro, as incrustações não apresentam tanta significância.

No compartimento catódico o pH inicial variou de 3,16 a 3,98. É possível observar que após a primeira medida já ocorre uma elevação do seu valor, indicando uma alcalinidade da solução. Isso se dá devido ao cátodo levar a formação de íons hidroxila no compartimento

(Rousseau, 1987). Após essa elevação inicial de pH, o valor ficou praticamente constante, sendo os valores finais obtidos entre 10,36 e 10,77.

Em contrapartida, no compartimento anódico ocorreu uma diminuição do valor de pH em todos os testes. Os valores finais obtidos variaram de 2,68 a 2,82. A justificativa para a redução do pH é devido a reação de formação de íons de hidrônio nesse compartimento (Rousseau, 1987). Por fim, o compartimento central foi o mais complexo de se pedir os valores de pH. Devido à polarização causada no sistema, os valores de pH não se ajustavam facilmente, mas, chegaram-se a valores de pH acima de 34, extrapolando o limite de medição do equipamento. Isso indica que há uma tendência a presença majoritária de íons hidroxila em relação a íons hidrônio na solução.

Conclusão

Durante o processo de eletrodiálise foi possível observar variação nos parâmetros de pH e condutividade em todos os compartimentos. Tanto no compartimento catódico quanto anódico houve um aumento da condutividade, enquanto no central houve uma redução, indicando a transferência de íons desse último para os demais. Quanto ao pH, houve um aumento no compartimento catódico e central, indicando a formação de íons hidroxila e redução no anódico, devido a formação de íons hidrônio. Nos três testes foi possível observar um percentual de desmineralização de quase 100 % no compartimento central, indicando que os íons presentes em solução foram transferidos para os demais compartimentos.

Para todos os testes o comportamento do pH foi o mesmo, chegando em valores próximos para cada compartimento nos três testes. Já para a condutividade, apesar de o comportamento e a tendência de valores terem sido os mesmos em todos os testes, houve uma redução da condutividade final para os compartimentos anódico e catódico conforme os testes eram feitos. Isso provavelmente está atrelado a formação de scaling no interior das membranas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro e de estrutura à UCS, CAPES, CNPQ e FAPERGS

Referências

BENVENUTI, T. Avaliação da eletrodiálise no tratamento de efluentes de processos de eletrodeposição de níquel. 2012. 130 f. Dissertação (Metrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 16 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2011.

CASADEMONT, C. *et al.* Electrodialysis of model salt solution containing whey proteins: Enhancement by pulsed electric field and modified cell configuration. **Journal of Membrane Science**, v. 328, n. 1–2, p. 238–245, 2009.

KIM, J *et al.* Metal ion recovery from electrodialysis-concentrated plating wastewater via pilot scale sequential electrowinning/chemical precipitation. Journal of Cleaner Production, v. 330, p. 129879, 2022.

KLISHCHENKO, R.; CHEBOTAROVA, R. Removal of Nickel from Electroplating Wastewater by a Combination of Electrodialysis and Electrodeposition. **Journal of Water Chemistry and Technology**, v. 45, n. 4, p. 378-382, 2023

LIVINALLI, N. F**. Estudo da performance de processos de separação por membranas para remoção de manganês e ferro de águas.** 2021. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

RAJIVGANDHI, G *et al.* Adsorption of nickel ions from electroplating effluent by graphene oxide and reduced graphene oxide. **Environmental Research**, v. 199, p. 111322, 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA nº 355 de 19 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

ROUSSEAU, R. W. Handbook of Separation Process Technology. John Wiley & Sons, 1987.

WANG, C *et al.* Removal of low concentrations of nickel ions in electroplating wastewater by combination of electrodialysis and electrodeposition. **Chemosphere**, v. 263, p. 128208, 2021.

YAN, K *et al.* An efficient Two-Chamber Electrodeposition-Electrodialysis combination craft for nickel recovery and phosphorus removal from spent electroless nickel plating bath. Separation and Purification Technology, v. 295, p. 121283, 2022.

Solução IOT para monitoramento de dióxido de carbono (CO_2): Integração *ThingSpeak* e *WhatsApp*

Luize Baldoni de Oliveira, Fabiana Campos Pimentel, Miguel Brondani, Samantha Gomes Lorenzi, Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Universidade Federal de Santa Maria (oliveira.luize@acad.ufsm.br; fabiana.pimentel@acad.ufsm.br; mibrondani@inf.ufsm.br; samantha.lorenzi@acad.ufsm.br; dga@ufsm.br)

Resumo: O ano de 2024 foi o mais quente registrado no Brasil desde 1961, com queimadas agravadas por condições climáticas extremas, que intensificaram a emissão de gases do efeito estufa e causaram impactos significativos à infraestrutura humana, à biodiversidade e ao equilíbrio ambiental. O estudo monitorou a concentração de dióxido de carbono (CO_2) em Santa Maria, Rio Grande do Sul durante as queimadas na região central e norte em 2024, utilizando o sensor MQ-135, e comparou os resultados com o período após a dissipação da fumaça na região de Santa Maria/RS. O estudo também avaliou a aplicabilidade de um sistema automatizado de alerta via WhatsApp, configurado com o serviço CallMeBot. Inicialmente, os dados foram coletados dos dias 23 de setembro a 17 de outubro de 2024, com medições realizadas a cada 15 minutos. Posteriormente, foram coletados dados entre os dias 17 e 27 de janeiro de 2025. O CallMeBot foi testado no segundo monitoramento de CO_2 para verificar o envio de mensagens automáticas aos usuários. O sistema permitiu a observação de uma maior concentração de CO_2 atmosférico durante o período das queimadas, indicando que os incêndios florestais ocorridos em setembro de 2024 afetaram a qualidade do ar em Santa Maria. Além disso, o uso de sensores de baixo custo se mostrou eficaz para o monitoramento ambiental, facilitando sua aplicação em pesquisas acadêmicas.

Palavras-chave: ESP-32. MQ-135. Dióxido de Carbono. Monitoramento Ambiental.

IOT solution for carbon dioxide (CO_2) monitoring: ThingSpeak *and* WhatsApp *integration*

Abstract: The year 2024 was the hottest recorded in Brazil since 1961, with fires aggravated by extreme weather conditions, which intensified the emission of greenhouse gases and caused significant impacts on human infrastructure, biodiversity, and environmental balance. The study monitored the concentration of carbon dioxide (CO_2) in Santa Maria/RS during fires in the central

and northern regions in 2024, using the MQ-135 sensor, and compared the results with the period after smoke dissipation in the region of Santa Maria, Rio Grande do Sul. The study also evaluated the applicability of an automated alert system via WhatsApp, configured with the CallMeBot service. Initially, the data were collected during September 23 to October 17, 2024, with measurements taken every 15 minutes. Subsequently, data were collected between January 17 and 27, 2025. CallMeBot was tested in the second CO_2 monitoring to verify the sending of automatic messages to users. The system allowed the observation of a higher concentration of atmospheric CO_2 during the burning period, indicating that the forest fires that occurred in September 2024 affected air quality in Santa Maria. In addition, the use of low-cost sensors has proven effective for environmental monitoring, facilitating its application in academic research.

Key words: ESP-32. MQ-135. Carbon Dioxide. Environmental Monitoring.

Introdução

O ano de 2024 foi registrado como o mais quente no Brasil desde 1961 (INMET, 2025), evidenciando as mudanças climáticas que agravam os desafios socioambientais e econômicos enfrentados por milhões de pessoas em todo o mundo. Entre os efeitos mais preocupantes, destaca-se o incremento das emissões decorrentes de incêndios florestais, os quais têm se tornado mais frequentes e intensos devido às condições climáticas extremas, como secas prolongadas e ondas de calor (Jones *et al.*, 2024). Eventos que, provocam consequências devastadoras para estruturas humanas, biodiversidade, reservas de carbono e equilíbrio ambiental (Bowman *et al.*, 2009; Kelly *et al.*, 2020).

Os incêndios florestais têm uma influência significativa na composição dos gases atmosféricos, contribuindo diretamente para o aumento dos níveis de poluentes (Moura *et al.*, 2024; Rahman; Branco; Ma, 2024). Na população, o aumento desses valores implica no agravamento de doenças respiratórias e na sobrecarga dos sistemas de saúde (Douglas-Vail *et al.*, 2023), especialmente em grupos mais vulneráveis, como crianças, que apresentam maior predisposição ao desenvolvimento de condições adversas, tanto a curto quanto a longo prazo, quando expostas a poluentes (Mannucci; Franchini, 2017).

Entre os poluentes gerados, destaca-se o dióxido de carbono (CO_2), um dos principais componentes dos gases de efeito estufa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), cuja emissão excessiva, intensificada pelas queimadas, contribui significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas

(Fearnside, 2002). Em 2023, as concentrações atmosféricas globais de CO_2 atingiram 419,3 ppm, um valor aproximadamente 51% superior aos níveis pré-industriais, representando a maior concentração dos últimos 800 mil anos e, possivelmente, dos últimos 2 milhões de anos (Friedlingstein *et al.*, 2023). No ano seguinte, em 2024, o Brasil enfrentou intensas queimadas, especialmente na região da Amazônia, que emitiram aproximadamente 31,5 milhões de toneladas de CO_2 equivalente, entre os meses de junho e agosto, no entanto, essa liberação de CO_2 continua além do período dos incêndios, já que a decomposição da vegetação atingida pode se estender por 5 a 10 anos após o evento (IPAM, 2024).

Diante desse cenário, torna-se essencial desenvolver e implementar medidas eficazes de controle e monitoramento para mitigar os impactos do aumento das concentrações de gases poluentes. O monitoramento do CO_2, por exemplo, pode ser realizado com sensores e microcontroladores, que permitem a coleta e análise de dados em tempo real. Esses dados são fundamentais para avaliar a influência de eventos específicos, como queimadas, na composição de gases da atmosfera, contribuindo para a elaboração de estratégias de mitigação e políticas públicas mais assertivas.

Para a aplicação desses sistemas, é introduzido o termo "internet das coisas", do inglês Internet of Things (IoT), que permite que objetos comuns sejam integrados à Internet e se conectem entre si e com pessoas (Lara *et al.*, 2021). Considerando a conexão com a rede mundial de computadores, esses objetos podem ser controlados, coletar informações de forma remota e desempenhar o papel de provedores de serviços. O que resulta em novas abordagens para pesquisas acadêmicas e no desenvolvimento de tecnologias inovadoras, graças à sua capacidade de processamento e comunicação integradas à sensores (Santos *et al.*, 2016). A IoT tem sido amplamente utilizada em diversas esferas da sociedade, desde atividades cotidianas até processos organizacionais complexos, promovendo maior eficiência, otimizando tarefas e fornecendo informações relevantes que auxiliam agentes de interesse na tomada de decisões estratégicas (Carvalho *et al.*, 2022).

O monitoramento de concentrações de dióxido de carbono pode ser realizado baseado em IoT utilizando o módulo MQ-135, um sensor capaz de detectar gases como: dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, amônia, fumaça e álcool, cujo funcionamento baseia-se em

uma resistência interna que diminui à medida que a concentração do gás no ambiente aumenta (Guse, 2022). O sensor MQ-135 é utilizado experimentalmente para a avaliação da qualidade do ar e seu monitoramento, demonstrando eficácia ao fornecer dados confiáveis quando corretamente operado (Easterline *et al.*, 2024).

O objetivo deste trabalho foi monitorar a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na cidade de Santa Maria, RS, durante o evento de transporte de fumaça proveniente das queimadas ocorridas na região amazônica em 2024. Para isso, foram utilizados o sensor MQ-135 e microcontroladores, possibilitando a análise comparativa dos dados coletados durante o período de influência das queimadas e um período subsequente, caracterizado pela ausência de grandes focos de incêndios florestais.

Além disso, buscou-se avaliar a eficácia de um sistema de alerta automatizado configurado para enviar notificações via WhatsApp, utilizando o serviço CallMeBot, e para transmitir os dados coletados via Wi-Fi à plataforma ThingSpeak, ambas como uma ferramenta de apoio no acompanhamento de eventos críticos relacionados às emissões de gases poluentes.

Materiais e Métodos

No presente trabalho, utilizou-se o sensor MQ-135, capaz de detectar os gases: dióxido de carbono, benzeno, amoníaco, metano, óxido nítrico, fumaça e álcool. Através das propriedades semicondutoras do óxido de estanho (SnO_2), presente no sensor MQ-135, os gases são detectados devido a interação deste material sensível com os gases do ambiente. A resistência deste material varia de acordo com a presença de gases no ambiente, sendo elevada em condições de ar limpo e diminuindo à medida que a concentração de gases no ambiente aumenta (Hanwei, 2021). Nesta pesquisa, o foco foi na detecção de dióxido de carbono (CO_2), um gás presente na atmosfera que é proveniente de fontes naturais e antrópicas.

Este sensor exige um tempo de pré-aquecimento de vinte segundos antes de ser utilizado, permitindo que as leituras se estabilizem, além de requerer uma calibração inicial para garantir medições mais precisas. A calibração é realizada por meio do ajuste do valor de R0 (resistência base), que representa a resistência do sensor em condições de ar limpo, e posteriormente o ajuste é efetuado com base na curva de sensibilidade.

Essas curvas, disponíveis no datasheet do sensor, descrevem a relação entre a razão da resistência interna do sensor e a resistência base em ar limpo, e as concentrações de gases, expressas em partes por milhão (ppm). A partir da análise da curva, é obtida a equação 1, utilizada para correlacionar a resistência do sensor aos valores de concentração de gás em ppm (Hanwei, 2021). Onde "CO_2" é a concentração de dióxido de carbono (ppm), e "ratio" é a proporção entre a resistência interna do sensor e a resistência base (adm).

$CO_2 = 110, 47 \times \text{ratio} - 2,862$ (1)

Para o processamento dos dados foi utilizado o microcontrolador TTGO ESP-32 OLED NodeMCU 18650. Este dispositivo permite que os dados sejam enviados de forma remota de maneira simples e ágil, pois dispensa a necessidade de módulos Wi-Fi por possuir o chip embutido.

O ESP-32 é um microcontrolador de alto desempenho que combina dois núcleos de processamento, permitindo a execução eficiente de tarefas simultâneas. Ele integra um chip Wi-Fi e Bluetooth Low Energy (BLE), oferecendo conectividade robusta para aplicações IoT. O microcontrolador é equipado com dois microprocessadores Xtensa LX6 de 36 bits, denominados Core 0 e Core 1, proporcionando maior capacidade de processamento (Helmi, 2020). Além disso, conta com 25 GPIO (General purpose Input/Output) configuráveis para diferentes tipos de entradas e saídas, bem como uma ampla gama de interfaces, incluindo SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit), UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) e ADC (Analog-to-Digital Converter), o que garante grande flexibilidade na integração com diversos sensores e atuadores.

Além de cabos jumpers e resistores de 4,7KΩ e 3,2Ω foi utilizada a IDE (Integrated Development Environment) Visual Studio Code, juntamente com a extensão PlatformIO, específica para desenvolvimento de aplicações para microcontroladores do tipo Arduino. O código criado foi programado na linguagem C++.

Os dados foram coletados em dois períodos distintos, inicialmente entre os dias 23 de setembro a 17 de outubro de 2024, durante a evidência de fumaça visível na atmosfera proveniente das queimadas na região amazônica, com medições realizadas a cada 15 minutos e instalado na área experimental do grupo de pesquisas Ecotecnologias,

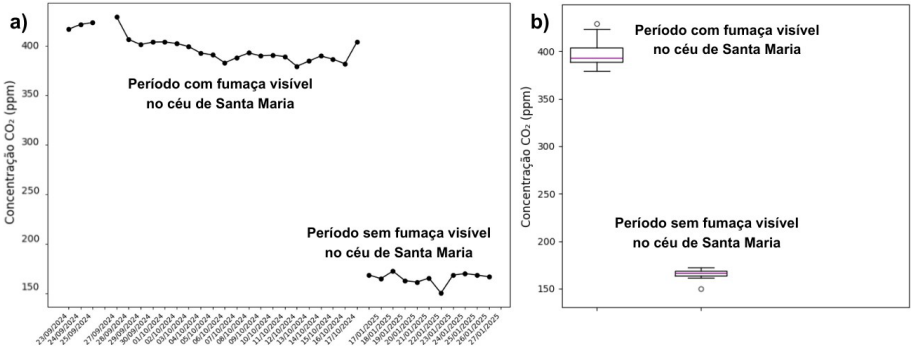
localizado no Centro de Tecnologia do campus sede da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Posteriormente, com o objetivo de realizar comparações, foram coletados dados de dióxido de carbono entre os dias 17 e 27 de janeiro de 2025, a cada 5 minutos, em um período sem registros de fumaça intensa visível na cidade de Santa Maria, RS. O sistema foi instalado na parte externa do laboratório do grupo de pesquisa, localizado no Centro de Tecnologia do campus sede da UFSM. A mudança de local se deu pela necessidade de conexão Wi-Fi para a solução IoT, que ficou indisponível na área experimental. Os dados foram transmitidos para a plataforma ThingSpeak, da MATLAB, um serviço em nuvem que permite o armazenamento, visualização e análise de dados em tempo real. A transmissão ocorre por meio do protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol), utilizando a chave de API (Application Programming Interface) do canal ThingSpeak para autenticação.

Além do envio para o Thingspeak, durante o segundo momento de monitoramento, foi testado o serviço CallMeBot em janeiro, com o propósito de realizar o envio de mensagens de alerta para números de telefone predefinidos. Após cada medição, uma mensagem com a concentração de dióxido de carbono é enviada ao usuário. Além disso, o sistema pode ser configurado para enviar alertas automáticos quando a concentração atingir um valor predefinido, permitindo avaliar e sinalizar potenciais riscos à população. Para o serviço CallMeBot, foram utilizados valores pré determinados, como 200, 400 e 500 ppm, para verificar o envio de mensagens aos usuários.

Resultados e Discussão

As médias diárias obtidas durante os períodos de estudo estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – (a) Concentração dióxido de carbono durante os períodos de coleta, (b) boxplot dos períodos de coleta



Fonte: Autora

A MetSul Meteorologia (2024) emitiu o primeiro alerta de qualidade do ar ruim a muito ruim para o Rio Grande do Sul em 07 de setembro de 2024, com destaque para cidades das regiões Central e Norte do estado, devido à fumaça proveniente das queimadas na Amazônia. Posteriormente, em 18 de setembro de 2024, a MetSul divulgou uma segunda nota alertando sobre o retorno da fumaça ao estado. A chegada dessa fumaça ocorreu por meio de uma corrente de jato em baixos níveis, que se forma no sul da Amazônia e se desloca até o território gaúcho. Esse corredor de vento quente e seco facilita o transporte das partículas e gases provenientes das queimadas na região Norte até o sul do país (MetSul Meteorologia, 2024). O monitoramento dos focos de incêndio no Brasil em 2024, que indicam quais regiões foram mais atingidas, está disponível na plataforma MapBiomas, na qual é possível filtrar os eventos de queimadas por diversas categorias em todo o território nacional. De acordo com os dados da plataforma, de agosto a setembro foi registrado a maior área total queimada no ano, somando 16.298.009 hectares. Considerando este cenário, a partir de 23 de setembro de 2024, iniciaram-se as medições de dióxido de carbono (CO_2) utilizando o sensor MQ-135.

O gráfico apresentado na Figura 1 revela um pico na concentração de CO_2 em 27 de setembro, atingindo cerca de 430 ppm, após um aumento expressivo nos dias anteriores. A seguir, observa-se uma diminuição nos valores ao longo do final de setembro e início de outubro, com uma estabilização subsequente a partir de 5 de outubro (primeira fase do estudo). Não foram registrados dados no dia 26 de setembro devido a queda de energia no local onde o sistema foi instalado. Durante

esse período, a temperatura média registrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Santa Maria foi de 19,8 °C, enquanto a umidade relativa do ar apresentou uma média de 80,5%.

Os dados coletados entre 17 e 27 de janeiro de 2025, considerados como referência para um período sem alertas meteorológicos relacionados à qualidade do ar (Figura 1), estão dispostos na lateral direita em ordem cronológica. Nesta fase, verifica-se que os valores de CO_2 se mantêm em torno de 166 ppm, indicando uma redução expressiva em comparação ao período monitorado em setembro e outubro de 2024. Nesta segunda etapa, a temperatura média no município foi de 26,22 °C, enquanto a umidade relativa do ar manteve uma média de 72,9%. Os valores de CO_2 sugerem que o elevado número de focos de incêndio no Brasil impactou a composição dos gases atmosféricos na região sul do país.

A interação entre temperatura, umidade e concentração de CO_2 não apresentou uma correlação aparente, o que está de acordo com os resultados de Asif e Zeeshan (2020). Esses autores avaliaram a variação de CO_2 durante o inverno e o verão, observando mudanças significativas na temperatura e na umidade relativa. No entanto, o estudo não identificou variações relevantes na concentração de CO_2.

Conforme destacado por Easterline *et al.* (2024), os resultados obtidos com o uso do sensor MQ-135 apresentam elevada confiabilidade, o que torna o monitoramento ambiental eficaz e oferece subsídios relevantes para a tomada de decisões por parte dos gestores. Além disso, o MQ-135 destaca-se como uma ferramenta eficiente para a detecção de diversos gases, ampliando suas possibilidades de aplicação, incluindo o monitoramento e a identificação de gases perigosos em diferentes contextos ambientais (Elangovan *et al.*, 2025).

Conclusão

As fumaças provenientes de queimadas são compostas por diversos gases e partículas, dentre eles dióxido de carbono (CO_2), que é um dos principais gases de efeito estufa. Quando liberado na atmosfera em grandes quantidades, o CO_2 intensifica o aquecimento global ao contribuir para o aumento da retenção de calor no planeta.

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um sistema de monitoramento da qualidade do ar com ênfase na detecção de dióxido de carbono (CO_2),

utilizando o sensor MQ-135. Os dados coletados foram transmitidos e visualizados na plataforma ThingSpeak, sendo posteriormente processados para o cálculo das médias diárias.

A partir do sistema desenvolvido, observou-se que as queimadas podem impactar a qualidade do ar em áreas distantes, dependendo da intensidade do fogo e das condições meteorológicas. Durante o período de setembro a outubro de 2024, foram registradas concentrações de CO_2 superiores a 400 ppm, com um valor médio de 397,99 ppm. Em contraste, no período de janeiro de 2025, a concentração média de CO_2 observada foi de 165,39 ppm, indicando uma menor presença desse gás na atmosfera em Santa Maria.

O uso do sensor MQ-135, mostrou-se uma solução de baixo custo eficiente para o monitoramento ambiental, facilitando a aplicação da metodologia em pesquisas acadêmicas. Além disso, a integração entre o *ThingSpeak* e o *WhatsApp*, utilizando o serviço CallMeBot, possibilitou o monitoramento contínuo e remoto, garantindo agilidade no acesso aos dados e às condições ambientais por meio de alertas automatizados.

A partir deste estudo, poderão ser elaborados sistemas de alerta mais robustos, representando um avanço no monitoramento e alarme de condições ambientais. Por fim, este trabalho evidencia o potencial de aplicação dessas tecnologias em diversos cenários, promovendo o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis. Ainda, são necessárias mais pesquisas, juntamente com um monitoramento de longo prazo, para que se compreenda melhor a dinâmica entre a ocorrência de queimadas e a concentração de CO_2 na atmosfera.

Referências

ALENCAR, A. A. C. *et al*. Long-term landsat-based monthly burned area dataset for the Brazilian biomes using deep learning. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022.

ASIF, A.; ZEESHAN, M. Indoor temperature, relative humidity and CO2 monitoring and air exchange rates simulation utilizing system dynamics tools for naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 180, p. 106980, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320303607. Acesso em: 28 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR 2060**: Especificação para a demonstração de neutralidade de carbono. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BOWMAN, D. M. J. S. *et al.* Fire in the Earth System. **Science**, v. 324, n. 5926, p. 481-484, 2009. Disponível em: https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1163886?casa_token=dKiZ7un1rMgAAAAA

%3A2oUJ9uplH4Jk_DKML5TpcOTq_gyphiOgqwZhLVQSutR9AfqSkdtOXx6Ht8Pyh1IVg8Sf ypJayo8mTsQ. Acesso em: 15 jan. 2025.

CARVALHO, J. L. de *et al.* Internet das coisas: aplicações e riscos. **Revista de Tecnologia da Informação da Faculdade Lourenço Filho**, v. 5, n. 1, jul.-dez. 2022. Disponível em: https://multiversa.edu.br/docs/revista-cientifica/ARTIGO%20 1%20-%20Internet%20das% 20Coisas_Riscos_JAIRO_ANDREBAROS.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.

DOUGLAS-VAIL, M. *et al.* Association of air quality during forest fire season with respiratory emergency department visits in Vancouver, British Columbia. **The Journal of Climate Change and Health**,v. 13, p. 100255, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266727822300055X. Acesso em: 15 jan. 2025.

EASTERLINE, L. M. *et al*. Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-2, MQ-7, MQ-8, and MQ-135 Sensors using NodeMCU ESP32. **Procedia Computer Science**, v. 245, p. 815-824, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924031168. Acesso em: 17 jan. 2025.

ELANGOVAN, U. *et al*. Assessment of harmful gases emission and its impact using IoT and geospatial technology. **Measurement**, v. 242, p. 115966, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224124018517. Acesso em: 21 jan. 2025.

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, p. 99-123, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/XSwmhQjJmfndLx5RYZpvjxh/. Acesso em: 16 jan. 2025.

FRIEDLINGSTEIN, P. *et al.* Global Carbon Budget 2023. **Earth System Science Data**, v. 15, n. 12, 2023. Disponível em: https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/. Acesso em: 16 jan. 2025.

GUSE, R. **Como funciona o sensor de gás MQ-135?** Maker Hero**.** 2022. Disponível em: https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-o-sensor-de-gas-mq-135/?srsltid=AfmB OooRZ4NMK-gTORu-qqnZsnCKCnINub9S_EN3yz6M-kchylHIEcpC. Acesso em: 17 jan. 2025.

HANWEI. **Datasheet**: technical data MQ-135 gas sensor. *[s. l.]*, 2021.

IPAM. **Emissão de CO2 por queimadas na Amazônia cresce 60%.** 2024. Disponível em: https://ipam.org.br/emissao-de-co2-por-queimadas-na-amazonia-cresce-60/. Acesso em: 16 jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Ano de 2024 é o mais quente no Brasil desde 1961**. 2025. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/noticias/2024-%C3%A9-o-ano-mais-quente-da-s%C3%A9rie-hist% C3%B3rica-no-brasil. Acesso em: 15 jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Tabela de Dados das Estações**. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001. Acesso em: 24 jan. 2025.

JAMALUDIN, Helmi. Designing ESP32 Base Shield Board for IoT Application. **Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 130-137, 2020.

JONES, M. W. *et al*. Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. **Science**, v. 386 n. 6719, p. eadl5889, 2024. Disponível em: https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.adl5889?casa_token=ISekiGaFsO4AAAAA%3APNFN9hXorh0MkUzBA8HdSedGDflYVPY38zKFPwbYj3YcQGyLBjoAT3AG0RC0Xs5 UO3v3tYJnmCelZgU. Acesso em: 15 jan. 2025.

KELLY, L. T. *et al.* Fire and biodiversity in the Anthropocene. **Science**, v. 370, n. 6519, p. eabb0355, 2020. Disponível em: https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.abb0355. Acesso em: 15 jan. 2025.

LARA, J. E. *et al*. Admirável mundo novo na perspectiva da tríade: Internet das Coisas, pessoas e mercados. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 26, n. 02, p. 124-150, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pci/a/XcYP8sxPzF4q3y4bkPx9nBt/?lang=pt. Acesso em: 16 jan. 2025.

MANNUCCI, P. M.; FRANCHINI, M. Health effects of ambient air pollution in developing countries. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 9, p. 1048, 2017. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/14/9/1048. Acesso em: 15 jan. 2025.

METSUL METEOROLOGIA. Alerta de qualidade do ar ruim a muito ruim no Rio Grande do Sul. 2024. Disponível em: https://metsul.com/alerta-de-qualidade-do-ar-ruim-a-muito-ruim-no-rio-grande-do-sul/. Acesso em: 15 jan. 2025.

METSUL METEOROLOGIA. Correntes de vento trarão muita fumaça da Amazônia para o sul do Brasil. 2024. Disponível em: https://metsul.com/correntes-de-vento-trarao-muita-fumaca-da-amazonia-para-o-sul-do-brasil/. Acesso em: 15 jan. 2025.

MOURA, F. R. de *et al.* In the line of fire: Analyzing burning impacts on air pollution and air quality in an Amazonian city, Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v. 14, n. 4, p. 102033, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104223003872. Acesso em: 15 jan. 2025.

RAHMAN, R. A.; WHITE, B.; MA, C. The effect of growth, deforestation, forest fires, and volcanoes on Indonesian regional air quality. **Journal of Cleaner Production**, v. 457, p. 142311, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624017591. Acesso em: 15 jan. 2025.

SANTOS, B. P. *et al.* Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, p. 16, 2016. Disponível em: https://bps90.github.io/assets/files/MinicursosSBRC2016.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.

Otimização de parâmetros experimentais para síntese de membranas de poli(álcool vinílico) pelo método de inversão de fases

Fernando Silva Dal Magro[1], Camila Baldasso[2], Wendel Paulo Silvestre[3]
[1]*Universidade de Caxias do Sul (fsdmagro@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (cbaldasso@ucs.br)*
[3]*Universidade de Caxias do Sul (wpsilvestre@ucs.br)*

Resumo: Membranas de separação produzidas a partir de polímeros verdes vêm ganhando destaque nos últimos anos. Atrelados ao desenvolvimento sustentável, diversos polímeros como o poli(ácido lático), poli(álcool vinílico) e até mesmo a celulose tiveram suas propriedades e capacidade de formação de membranas avaliadas para a produção sustentável desta rica tecnologia. Neste trabalho, o poli(álcool vinílico) foi escolhido para que os parâmetros de produção de membranas fossem estudados a fim de determinar a melhor concentração de polímero para a formação de uma membrana íntegra e funcional. Foram preparadas membranas em concentrações de 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v) com adição de glicerol (plastificante) e ácido cítrico (reticulante) e caracterizadas de acordo com sua estrutura e morfologia, tendo suas propriedades de permeação de água também determinadas. Os resultados mostraram que as membranas obtidas são funcionais, com fluxos observados de 1216,67 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ para a concentração 6 %, 180,51 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ para a membrana de 8 %, e 29,15 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ para a membrana de 10 %. Com base nestes resultados, foi possível determinar a concentração ideal de polímero para a obtenção das membranas de PVA.

Palavras-chave: biopolímeros, processos de separação por membranas, membrana verde, sustentabilidade, permeabilidade hidráulica

Optimization of experimental parameters for the synthesis of poly(vinyl alcohol) membranes using the phase inversion method

Abstract: Separation membranes produced from green polymers have gained prominence in recent years. Linked to sustainable development, several polymers such as poly(lactic acid), poly(vinyl alcohol) and even cellulose had their properties and membrane-forming capacity evaluated for the sustainable production of this rich technology. In this work, poly(vinyl alcohol) was chosen so that the membrane production parameters could be studied in order to determine the best polymer concentration (in m/v) for the formation of an intact and functional membrane. Membranes were prepared at concentrations of 6 % (m/v), 8 % (m/v) and 10 % (m/v) with the addition of glycerol (plasticizer)

and citric acid (crosslinker) and characterized according to their structure and morphology, with its water permeation properties also determined. The results showed that the membranes obtained are functional, with observed fluxes of 1216.67 L·m-2·h-1 for the 6 % concentration, 180.51 L·m-2·h-1 for the 8 % membrane and 29.15 L·m-2·h-1 for the 10 % membrane. Based on these results, it was possible to determine the ideal polymer concentration to obtain PVA membranes.

Key words: biopolymers, membrane separation processes, green membrane, sustainability, hydraulic permeability

Introdução

Tendo como principal objetivo ser uma alternativa aos tratamentos convencionais de águas e efluentes, os processos de separação por membranas (PSM) vêm ganhando destaque devido à capacidade de remover contaminantes de fluidos, podendo ser combinados a outros processos de separação, gerando menor quantidade de resíduos em comparação a tratamentos físico-químicos, por exemplo. Atualmente, a técnica tem se mostrado bastante assertiva, quando avaliada pela sua real efetividade em polimento e finalização de separações simples e complexas, como o caso do tratamento de efluentes (Figoli *et al.*, 2018).

Entretanto, membranas de separação têm vida útil estimada na faixa de 8 – 10 anos. Isto está relacionado a adversidades do método de aplicação, como o surgimento de fouling, que são partículas em suspensão, materiais solúveis e contaminantes que provocam incrustações e bioincrustrações na estrutura das membranas, reduzindo o fluxo de permeado e a remoção de solutos (Oliveira *et al.*, 2013). Este fator gera toneladas desta tecnologia dispostas em aterros, devido à origem fóssil dos polímeros utilizados. Diversas alternativas têm sido testadas para diminuição do impacto do fouling sobre as membranas de separação, mas, em alguns casos, este acúmulo é irreversível e, combinado à utilização indevida, leva ao descarte da membrana pela sua inutilização (García-Pacheco *et al.*, 2017).

Portanto, diante do impacto observado pela grande quantidade de membranas produzidas à base de polímeros sintéticos fósseis dispostas em aterros, e considerando o tratamento por membranas como possível solução para remoção de poluentes, o objetivo deste trabalho é a otimização de parâmetros experimentais para a síntese de membranas poliméricas verdes a partir do poli(álcool vinílico), produzidas pelo método de inversão de fases por evaporação de solvente, utilizando

água destilada como solvente, e glicerol como agente maleabilizante, a fim de observar a contribuição destas análises na produção de membranas verdes.

Material e métodos

A metodologia explorada para o desenvolvimento deste trabalho compreende as seguintes etapas: (1) preparação da membrana verde por reticulação com ácido cítrico e glicerol, seguindo um planejamento experimental em três concentrações de polímero diferentes – 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v) – e com adição de 10 % de ácido cítrico sobre a massa de polímero utilizada e 4 % sobre o volume de solução; (2) avaliação da membrana verde produzida pela sua caracterização por testes inerentes (morfologicamente e estruturalmente) e pelo seu desempenho em teste de fluxo máximo e permeabilidade hidráulica.

Preparo das membranas

As membranas verdes de PVA foram preparadas a partir da evaporação do solvente do filme polimérico, seguido pelo processo de reticulação por temperatura. A reticulação realizou-se sem uso de catalisadores, na presença de ácido cítrico e finalizada por tratamento térmico, segundo a metodologia de MERCK et. al (2020). As concentrações utilizadas para avaliação das membranas foram definidas em 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v). As membranas produzidas foram testadas a fim de avaliar o melhor desempenho dentre as amostras obtidas. Para comprovar qual melhor massa de polímero a ser utilizada, foi necessário caracterizar as membranas em relação à estrutura e morfologia e determinar a permeabilidade.

Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV-FEG)

A morfologia das membranas de PVA obtida foi avaliada pela técnica MEV-FEG. As imagens foram obtidas em um microscópio eletrônico TESCAN MIRA3 no Laboratório Central de Microscopia (LCMic) da UCS, avaliando a topografia da membrana e da sua seção transversal. Antes da análise, as amostras foram submetidas a fratura criogênica, dispostas em stub com fita de carbono e recobertas com uma fina camada de ouro pelo tempo de 3 min por sputtering, ocorrendo a metalização para que a leitura das imagens fosse possível.

Ângulo de contato com água (WCA)

O caráter hidrofílico da membrana foi avaliado pelo método da gota séssil, onde 100 µL de água destilada foram depositados sobre a membrana, em uma superfície plana. As imagens foram obtidas por uma câmera fotográfica (PANASONIC DMC-FZ40) imediatamente após a deposição da gotícula de água, no Laboratório de Membranas e Materiais (LAMEM). Pelo intermédio do software Surftens 3.0, as imagens obtidas foram avaliadas para a determinação do ângulo de contato entre a gota e a superfície da membrana. Este ensaio foi realizado em triplicata de amostra, sendo cada réplica determinada pela média de cinco análises.

Compactação das membranas e fluxo máximo

As membranas compactadas foram testadas em sistema de permeação de água em temperatura ambiente com pressões manométricas controladas, entre zero e 6 bar, que é a medida máxima de trabalho da bomba utilizada no teste no LAMEM. As medidas foram realizadas em triplicata com intervalos de 0,5 bar com tempo entre coletas de 10 min, para estabilização do sistema, até que o fluxo se tornasse constante. O fluxo máximo de permeado foi determinado pela Equação (1) (Mulder, 1996).

$$J_P - \frac{V}{(A \times \Delta T)} \quad (1)$$

Sendo J_p: fluxo de água permeado ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$); V: volume de água permeado (L); A: área da membrana (m^2); e ΔT: variação do tempo (h).

Os testes foram realizados com fluxo frontal, sendo possível determinar o fator de compactação (FC) das membranas sintetizadas pelo uso da Equação (2), conforme Oliveira (2013).

$$FC = \frac{Jw_{inicial}}{Jw_{final}} \quad (2)$$

Sendo FC: fator de compactação (adimensional) e Jw: fluxo de água permeado ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$).

Permeabilidade hidráulica

A permeabilidade hidráulica das membranas de PVA obtidas e previamente compactadas foi determinada através do coeficiente angu-

lar obtido com a regressão linear dos pontos do gráfico que relaciona a pressão através da membrana e o fluxo permeado do experimento realizado, conforme a Equação 3 (Mulder, 1996).

$$L^P = \frac{Jw}{\Delta P} \quad (3)$$

Sendo L_P: permeabilidade hidráulica ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot Pa$), Jw: fluxo de água permeada ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

e ΔP: pressão transmembrana (Pa).

Inchamento mássico e dimensional

A análise de inchamento mássico e dimensional é responsável por determinar a capacidade de absorção de água da membrana, sendo comumente chamados de ensaios de swelling. Esta característica é proveniente de interações das cadeias do polímero com o solvente, sem que ocorra a total solubilização da membrana. Previamente ao ensaio, três corpos de provas da membrana foram recortados em quadrados de 2 cm e dispostos em um dessecador pelo tempo de 24 h, em temperatura ambiente de 23±2 °C. Após, as amostras foram medidas em micrômetro (Digimess 150 mm) e sua massa foi determinada em balança analítica de precisão (Marte, modelo AD500). Após as medições, as amostras foram dispostas em béqueres com água destilada em nível suficiente para manter as amostras molhadas e deixadas por 24 h. Após este tempo, as medidas mássicas e dimensionais úmidas foram coletadas e o inchamento mássico e dimensional foi determinado pelo uso das Equações 4 e 5.

$$I_M(\%) = \frac{M_U - M_S}{M_S} * 100 \quad (4)$$

$$I_D(\%) = \frac{A_U - A_S}{A_S} * 100 \quad (5)$$

Sendo I_M = inchamento mássico (%); M_U = massa da membrana úmida (g); M_S = massa da membrana seca (g); I_D = inchamento dimensional (%); A_U = área da membrana úmida (mm^2) e A_S = área da membrana seca (mm2).

Perda de massa em água

A análise perda de massa em água determina quanta massa é perdida (em polímero) pela disposição da membrana em água, visto que o PVA é um polímero hidrossolúvel. Apesar da reticulação, os efeitos desta interação ainda podem ser observados (RAOTA, 2023). Para este teste, corpos de prova quadrados de 2 cm foram previamente dispostos em dessecador, em temperatura ambiente de 23±2 °C. Após este tempo, as amostras tiveram sua massa determinada em balança analítica de precisão (Marte, modelo AD500). Após as medições, as amostras foram dispostas em béqueres com água destilada em nível suficiente para manter as amostras molhadas e deixadas por 24 h. Posteriormente, as amostras foram novamente secas pelo tempo de 24 h para que fossem novamente pesadas. A perda de massa em água foi determinada pelo uso da equação

$$P_{m\,(\%)} = \frac{M_U - M_S}{M_S} * 100 \qquad (6)$$

Sendo Pm = perda de massa (%); M_U = massa da membrana após 24 h em água (g) e M_S = massa da membrana seca (g).

Resultados e discussão

Caracterização das membranas

O aspecto visual das membranas produzidas nas concentrações de 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v) estão apresentadas na Figura 1. As membranas densas obtidas apresentaram propriedade óptica transparente e superfície brilhosa, como é possível identificar nas imagens.

Figura 1 – Aspecto visual das membranas, produzidas pelo método de inversão de fases, com concentrações de 6 % (m/v) (a), 8 % (m/v) (b) e 10 % (m/v) de PVA na solução filmogênica.



Fonte: Autores (2024).

Pela análise da Figura 1, pode-se perceber que as membranas produzidas se mostraram homogêneas e sem defeitos aparentes. As amostras das membranas produzidas e aprovadas pelas suas características iniciais foram, então, caracterizadas. Os valores de espessura para as membranas produzidas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de espessura, inchamento mássico e inchamento dimensional das membranas produzidas com diferentes concentrações de PVA.

Concentração de polímero (m/v)	Espessura (μm)	Inchamento mássico (%)	Inchamento dimensional (%)
6 %	15 ± 1,5	15,445 ± 1,191	3,461 ± 0,407
8 %	19 ± 1,2	21,144 ± 2,205	1,062 ± 0,330
10 %	24 ± 1,2	24,948 ± 1,023	0,396 ± 0,144

Fonte: Autores (2024).

A partir dos valores coletados, foi possível observar um aumento da espessura das membranas de acordo com o teor de polímero utilizado no preparo da solução. Os valores encontrados para a espessura das membranas apresentaram-se relativamente altos (algumas membranas comerciais atingem até 4 μm), o que acarreta redução do fluxo transmembrana.

Na tabela 1 é possível observar os dados referentes ao inchamento mássico e dimensional das membranas produzidas, de acordo com a concentração de polímero utilizada. O inchamento das membranas de PVA ocorre devido ao elevado número de hidroxilas do polímero, que interagem com as moléculas de água (Wang, 2019). Por outro lado, a reticulação reduz a quantidade de hidroxilas livres e limita a mobilidade das cadeias poliméricas, diminuindo o efeito do inchamento e impedindo a solubilização da membrana (Sonker, 2018). Além disso, a literatura reporta que a reticulação do PVA com ácidos carboxílicos (como o ácido cítrico) cria vazios em escala nanométrica, que podem atuar como pontos de absorção de largas quantidades de água, causando o inchamento da membrana mesmo esta estando reticulada. Dessa forma, a reticulação controlada não compromete a permeabilidade da membrana (Sonker, 2018).

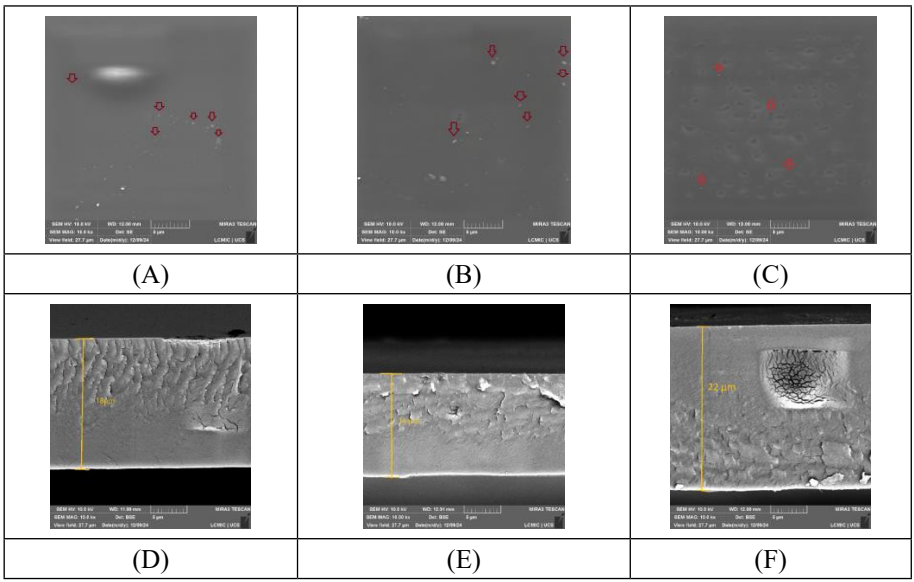
Pelos dados mostrados na Tabela 1, é possível observar que o maior inchamento foi para a membrana produzida com maior concentração de polímero, que pode estar relacionado à maior presença de cadeias

poliméricas e maior presença de hidroxilas livres, causando maior grau de inchamento. Como as membranas foram sintetizadas e reticuladas nas mesmas concentrações, para a maior concentração de polímero ocorreram regiões não uniformemente reticuladas, que criaram áreas em que as cadeias poliméricas ficaram soltas, segundo os experimentos obtidos por Jiang *et al.* (2013).

O estudo do inchamento demonstra a interação da membrana com o solvente em toda a extensão do material e em tempo suficiente para atingir o equilíbrio. A avaliação da hidrofilicidade, em contraste, revela os efeitos instantâneos da deposição de água na superfície da membrana. A reticulação do PVA controla a sua afinidade pela água; entretanto, não é desejável que torne a membrana hidrofóbica (WCA > 90°) (YU, 2021). Para o caso das membranas produzidas, foi possível observar ângulos de contato inferiores ao valor limite, o que mostra que a reticulação reduziu, mas não eliminou a afinidade do polímero com a água, onde observa-se WCA de 53,89º, 53,47º e 54,82º para as membranas de 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v) de PVA, respectivamente.

As imagens de MEV-FEG das membranas nas concentrações produzidas podem ser observadas na Figura 2. É possível verificar que as membranas verdes possuem superfície densa e lisa, com a presença de pequenas impurezas provenientes do processo de preparação, que são exemplificadas pelas setas vermelhas nas imagens. Para a membrana de 10% m/m de polímero foi possível observar algumas irregularidades na vista da superfície, proveniente do acondicionamento das amostras, sem interferência importante nos testes realizados. A secção transversal confirma que as membranas são densas, sem a presença expressiva de poros ou defeitos. Observa-se também as marcas provocadas pela fratura criogênica, sendo que a espessura total calculada das membranas foi de aproximadamente 18 μm para a membrana de 6 % m/m PVA, 14 μm para a membrana de 8 % m/m PVA e 22 μm para a membrana de 10 % m/m PVA. As imagens obtidas por Raota (2023) para membranas de PVA reticuladas com ácido cítrico possuem o mesmo aspecto denso e homogêneo, além de marcas de fratura criogênica na secção transversal.

Figura 2 – Micrografias obtidas para as membranas e concentrações de a) 6% m/v PVA vista superior, b) 8% m/v PVA vista superior, c) 10% m/v PVA vista superior, d) 6% m/v PVA secção transversal, e) 8% m/v PVA secção transversal, f) 10% m/v PVA secção transversal.



(A)	(B)	(C)
(D)	(E)	(F)

Fonte: autores (2025).

Compactação das membranas e fluxo máximo

Para as análises de compactação e fluxo permeado, foram analisadas as membranas de 6 % (m/v), 8 % (m/v) e 10 % (m/v), onde o tempo de compactação foi de aproximadamente 6 h. Em comparação ao início desse processo, foi observado que o fluxo de permeado diminuiu devido à compactação da membrana em função do tempo. Quando o estado estacionário é atingido, considera-se finalizado o período de compactação da membrana, o que possibilita a realização do teste de permeabilidade das membranas.

O fluxo máximo foi definido na pressão máxima suportada pelo módulo de membranas (6,0 bar). Os valores de vazão estão apresentados na Tabela 2. Vale ressaltar que a membrana suportou a pressão do sistema sem apresentar rompimento, mostrando que, para esta faixa de trabalho, a membrana é funcional.

Tabela 2 – Determinação de fluxo máximo, vazão média e fator de compactação na permeação de água para membranas de PVA, produzidas com diferentes concentrações de polímero na solução filmogênica.

Membrana (m/v)	Vazão média ($L \cdot h^{-1}$)	Fluxo máximo ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	Fator de compactação (FC)
6 %	0,561	1216,67	1,18
8%	0,083	180,51	3,20
10 %	0,013	29,15	5,20

Fonte: autores (2024).

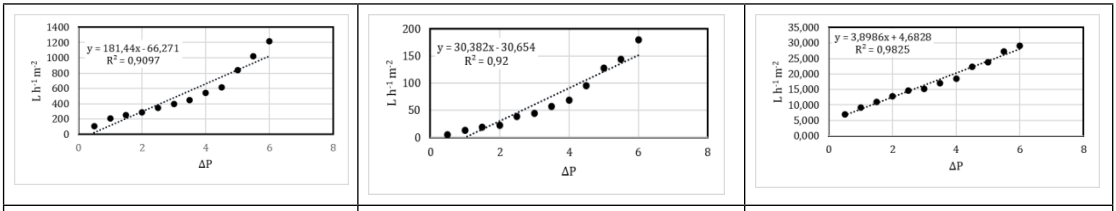
O fluxo máximo observado para a membrana de 6 % foi de 1216,67 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, maior do que o que foi observado para a membrana de 8 %, onde o fluxo máximo observado foi de 180,51 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, que, por sua vez, foi maior do que observado para a membrana de 10 %, que apresentou fluxo máximo de 29,15 $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, fato que pode ser explicado pelo fator de compactação de cada amostra, pois quanto maior o fator de compactação observado, menor é o fluxo de água pela membrana devido à maior dificuldade de transporte pela estrutura (MULDER, 1996).

O FC está relacionado à estrutura da membrana, principalmente à porosidade. Quanto maior for o FC, mais compactada é a membrana, principalmente em função da presença de macroporos em sua estrutura. Dessa forma, os valores de FC encontrados nas membranas utilizadas no presente estudo sugerem que a compactação para a amostra 10 % foi maior, devido às proporções entre camada densa e camada superficial porosa. Ademais, os FC's obtidos explicam o fluxo de permeado maior para a membrana de 6 %, devido à menor compactação desta amostra. A compactação das membranas obtidas ocorreu pelo colapso dos possíveis poros da camada interna da membrana, fator que influenciou a transferência de massa pela membrana.

Permeabilidade hidráulica

Após a compactação, as membranas passaram a permear água em função da pressão aplicada. Conforme a Figura 3, o fluxo tende a aumentar conforme a pressão aumenta.

Figura 3 – Fluxo de permeado em função da variação de pressão para membranas de PVA em concentrações de a) 6 %, b) 8 % e c) 10 % de polímero no preparo da solução filmogênica.



(A) (B) (C)

Fonte: autores (2024).

Os valores obtidos para o fluxo máximo das membranas podem ser considerados compatíveis em comparação ao observado por Raota (2023). Em seus estudos sobre produção de membranas de PVA, na concentração de 10 %, foram observados fluxos de água menores para um intervalo de pressão semelhante, trabalhando na faixa de zero – 6 bar. As nanopartículas de prata utilizadas nas membranas produzidas por Raota (2023) foram responsáveis por aumentar a barreira seletiva a água e sais, diminuindo o fluxo permeado observado. Para as membranas de PVA produzidas neste trabalho, os valores de fluxo encontrados são um indicativo de que, para moléculas de tamanho pequeno, como é o caso da água, a membrana é funcional e apresenta resistência à passagem do fluido.

Por intermédio da regressão linear dos dados apresentados na Figura 3, obteve-se a equação de reta mostrada nos gráficos. Nota-se que há uma relação linear entre o fluxo de permeado e a variação de pressão transmembrana, com valores de $R^2 = 0,9097$ para a membrana de 6 %, $R^2 = 0,92$ para a membrana de 8 % e $R^2 = 0,9825$ para a membrana de 10 %. A diferença entre os valores experimentais obtidos e a unidade pode ser atribuídos a erros de medição inerentes à análise ou a pequenas variações de pressão durante o experimento.

As Equações 7, 8 e 9 foram obtidas a partir da regressão linear obtida com os dados da Figura 6 para a membrana de 6 %, 8 % e 10%, respectivamente.

Jp=181,44 *ΔP-66,271	(7)
Jp=30,382 *ΔP-30,654	(8)
Jp=3,899 *ΔP+4,6828	(9)

Sendo Jp = fluxo de ar sintético permeado ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) e ΔP = pressão transmembrana (bar).

Conclusão

Os dados obtidos experimentalmente mostram que a membrana de concentração 10 % (m/v) apresentou os melhores resultados. Em comparação às membranas de diferentes espessuras preparadas com mesmo solvente, os resultados estão alinhados com a literatura, onde membranas com menor espessura apresentam maior fluxo, enquanto membranas com maior espessura apresentam menor fluxo. Foi possível notar um maior fator de compactação, que demostra melhor afinidade entre a concentração de polímero e a solução, bem como os melhores resultados no teste de permeabilidade. Assim, foi possível determinar que a melhor concentração de polímero a ser utilizada no preparo de membranas de PVA utilizando água destilada como solvente, e considerando a metodologia utilizada neste trabalho para a produção das membranas, é a concentração de 10 % de PVA (m/v), a partir do uso de concentrações fixas de reticulante e plastificante, para que seja possível sintetizar membranas íntegras e funcionais.

Referências

FIGOLI, A., GALIANO, F., BRICEÑO, K., MARINO, T., MOLINO, A., & CHRISTENSEN, K. V. (2018). Journal of Membrane Science. Advances in biopolymer-based membrane preparation and applications, pp. p. 562-586.

GARCÍA-PACHECO, R., LAWLER, W., LANDABURU-AGUIRRE, J. G.-C., & LE-CLECH, P. (2017). Comprehensive Membrane Science and Engineering. **End of Life Membranes – Challenges and Oppotunities**, pp. p. 293-310.

JIANG, X. LI, C. HAN, Q.; (2023, 1303-1320). Modulation of swelling of PVA hydrogel by polymer and crosslinking agent concentration. **Polymer Bulletin.**

MERCK, J.Z.; RAOTA, C.S.; DUARTE, J.; BALDASSO, C.; CRESPO, J.S.; GIOVANELA, M. (2020). Development of poly(vynil alcohol)-based membranes by the response surface methodology for environmental applications. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental** – REGET/UFSM.

MULDER, M. (1996, 564 p.). **Basic Principles of Membrane Technology** (2ª ed.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

POLETTO, P. (2010.). Caracterização de membranas de poliamida 66 preparadas pelo método de inversão de fases. **Dissertação de mestrado**.

RAOTA, C. (2023). Desenvolvimento de uma membrana verde à base de poli(vinil álcool) para a remoção de diclofenaco de sódio de matrizes aquosas. **Tese de doutorado.**

SONKER, A.K.;, RATHORE, K., NAGARALE, V.; (2018, 1782-1794) Crosslinking of poly(vinyl alcohol and effect of crosslinker shape (aliphatic and aromatic) thereof. **Journal of Polymers and the environment.**

WANG, H., WANG, L., LIU, E., XU, W., & ZHUANG, Y. (2019). International journal of Biological Macromolecules. Effect of temperature on the morphology of poly (lactic acid) porous membrane prepared via phase inversion induced by water droplets, pp. p. 902-910.

YU, D.; FENG, Y-Y.; XU, X.; KONG, B-K.; LIU, Q.; WANG, H.; (2021, 361-370). Fabrication, characterization and antibacterial properties of citric acid crosslinked PVA electrospun microfiber mats for active food packaging. **Packaging technology and Science.**

Decorrência das pontas de cigarros no desenvolvimento de plântulas de pepino

Juliana Roriz Aarestrup[1], Vinícius Aarestrup Azevedo[2]
[1]*IFMT – Campus Sinop (juliana.roriz@ifmt.edu.br)*
[2] *IFMT – Campus Sinop (viniaarestrup@gmail.com)*

Resumo: O objetivo desse estudo foi verificar as consequências da contaminação das pontas de cigarros na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.). O tratamento controle com água destilada (tratamento 0) foi utilizado como parâmetro comparativo para as análises sobre a interferência dos extratos aquosos dos preparados em 1 L de água destilada, nas concentrações de uma (tratamento 1), duas (tratamento 2), quatro (tratamento 3), oito (tratamento 4) e 16 bitucas (tratamento 5). Em cada tratamento, foram utilizadas 60 sementes, em três repetições. O experimento foi conduzido no Laboratório Multidisciplinar do IFMT – *Campus* em Sinop. A germinação das sementes ocorreu em temperatura ambiente, em "micro estufas" elaboradas com garrafas PET de 500 mL, gaze, fita adesiva transparente, elástico de látex e algodão. As sementes foram mantidas sob condições experimentais por 10 dias, em algodão úmido, de acordo com cada tratamento. As avaliações das sementes germinadas e do desenvolvimento das plântulas foram realizadas, diariamente. Os dados quantitativos foram registrados em planilhas e convertidos em tabelas e gráficos. Os resultados qualitativos foram analisados em microscopia estereoscópica e capturados por meio fotográfico. Observou-se que todos os tratamentos com extratos aquosos das pontas de cigarros influenciaram na germinação das sementes de pepino, negativamente. Acredita-se que a provável presença de metais pesados nas pontas de cigarros e a sensibilidade dessas plantas possam ter desencadeado as alterações anatômicas em pepino, evidenciando o seu potencial nocivo para o meio ambiente.

Palavras-chave: Bitucas. Intoxicação. Poluição.

Effect of cigarette butts on the development of cucumber seedlings

Abstract: The objective of this study was to verify the consequences of cigarette butt contamination on the germination and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. The control treatment with distilled water (treatment 0) was used as a comparative parameter for the analyzes on the interference of the aqueous extracts of the preparations in 1 L of distilled water, at concentrations of one (treatment 1), two (treatment 2), four (treatment 3), eight (treatment 4) and 16 cigarette butts (treatment 5). In each treatment, were used 60 seeds in three replications. The experiment was conducted at the IFMT Multidisciplinary Laboratory – Campus in Sinop. Seed germination occurred at room temperature, in "micro greenhouses" made with 500 mL PET bottles,

gauze, transparent adhesive tape, latex elastic and cotton. The seeds were kept under experimental conditions for 10 days, in moist cotton, according to each treatment. Assessments of germinated seeds and seedling development were carried out daily. Quantitative data were recorded in spreadsheets and converted into tables and graphs. The qualitative results were analyzed using stereoscopic microscopy and captured by photography. It was observed that all treatments with aqueous extract from cigarette butts influenced negatively the germination of cucumber seeds. It is believed that the probable presence of heavy metals in cigarette butts and the sensitivity of these plants may have triggered the anatomical changes in cucumber, highlighting its harmful potential for the environment.

Key words: Cigarette Butts. Intoxication. Pollution.

Introdução

O consumo de tabaco, uma prática realizada pela humanidade desde o século XV, não traz malefícios apenas à saúde humana: para o cultivo do tabaco, são utilizadas grandes quantidades de agrotóxicos; na produção de cada 300 unidades de cigarros, ocorre a queima de uma árvore inteira para a manutenção da estrutura de secagem das folhas de fumo, sendo necessário o desmatamento anual de mais de 200 mil hectares (Jung *et al.*, 2014).

Outro efeito alarmante do uso do tabaco é o acúmulo dos resíduos após o consumo, como o descarte indevido das pontas de cigarro, conhecidas popularmente como bitucas ou guimbas. Cerca de 4,5 trilhões de bitucas de cigarros são encontradas no planeta, todo ano, sendo considerado um dos componentes mais comuns dos lixos praianos e de outras áreas ambientais amplamente desfrutadas por humanos (OPAS, 2022). E qual é o seu destino? As bitucas jogadas pelas ruas das cidades logo chegam aos bueiros e corpos d'água. Aquelas guimbas jogadas na areia das praias atingem os oceanos rapidamente, prejudicando a fauna e flora (Moerman e Potts, 2011). Aves marinhas, peixes e tartarugas consomem as pontas de cigarros por confundirem com alimentos (Lopes *et al.*, 2020). Em contato com a água, as guimbas se desintegram e formam microplásticos ingeridos por animais marinhos ainda menores, podendo desencadear doenças graves e até a morte, além de alterar a dinâmica natural do meio ambiente (Puls *et al.*, 2010).

O filtro bloqueia a entrada de 50% de nicotina e alcatrão, em média, demonstrando que a bituca é uma fração do cigarro bastante prejudicial à natureza. Uma única guimba dissolvida pode tornar impróprio cerca de 2,5 mil litros de água, prejudicando desde organismos mais sensíveis

até aqueles mais resistentes. A quantidade de bitucas depositada nas águas é tão grande que as substâncias tóxicas presentes são importantes fatores de contaminação (Fleury, 2018). Entre os componentes, encontram-se chumbo, arsênico, cádmio, níquel e cobre, que prejudicam inúmeros seres vivos (Martins, 2008).

O objetivo dessa pesquisa foi verificar as consequências da contaminação das bitucas de cigarro em águas utilizadas para a germinação e o desenvolvimento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.).

Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório Multidisciplinar do IFMT – *Campus* Sinop, de julho a setembro de 2024.

Para a análise da toxicidade das pontas de cigarros em plantas jovens, foram preparados extratos com água destilada (1 litro) e uma bituca (tratamento 1 ou T1, concentração de 1:1), duas bitucas (tratamento 2 ou T2, concentração de 2:1), quatro bitucas (tratamento 3 ou T3, concentração de 4:1), oito bitucas (tratamento 4 ou T4, concentração de 8:1) ou 16 bitucas (tratamento 5 ou T5, concentração de 16:1). Para o controle experimental, utilizou-se apenas água destilada (tratamento 0 ou T0, 0:1). Os extratos aquosos de T1, T2, T3, T4 e T5 foram preparados com pontas de cigarros queimadas, imersas em água destilada e mantidas em descanso por sete dias. Após esse tempo, os extratos foram peneirados para a retirada dos resíduos maiores. Para cada tratamento, foram utilizadas 60 sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.), em três repetições, colocadas para germinar em "micro estufas" montadas com garrafas PET de 500 mL cortadas ao meio (estratégia de reciclagem), unidas com fita transparente, tampadas com gaze e elástico de látex na extremidade superior. As sementes foram colocadas sobre algodão embebido em água destilada ou extratos das pontas de cigarros (de acordo com cada tratamento) e mantidas em temperatura ambiente, por 10 dias. Procedeu-se a contagem do número de sementes germinadas, diariamente, com registros em planilhas e, ao final dos ensaios, realizaram-se as análises das plântulas em microscópio estereoscópio, com as medições dos comprimentos das raízes principais com o auxílio de paquímetro. Os dados numéricos foram convertidos em tabelas e gráficos e as observações qualitativas foram registradas por meio fotográfico.

Resultados e Discussão

As “micro estufas” mantiveram a umidade necessária para a germinação das sementes. Durante todo o experimento, foram observadas gotículas presentes nas paredes das micro estufas (Figura 1).

Figura 1 – “Micro estufas” artesanais com plântulas de pepino.



Fonte: Própria.

A análise dos dados permitiu verificar que os extratos aquosos de pontas de cigarros não prejudicaram o processo germinativo das sementes de pepino (tabela 1). Em todos os tratamentos, houve a emergência média de radículas e caulículos, com variações entre 95,55 e 100,00%, em tempos muito semelhantes (entre 2 e 4 dias).

Tabela 1 – Efeito de extratos aquosos de pontas de cigarro na germinação de sementes de pepino.

TratamentosMédia de sementes	Número	Percentual	Média de tempo (em dias)
Tratamento controle ou T0 (0:1)	45	100,00	2
Tratamento 1 ou T1 (1:1)	43	97,77	2
Tratamento 2 ou T2 (2:1)	43	97,77	4
Tratamento 3 ou T3 (4:1)	45	100,00	2
Tratamento 4 ou T4 (8:1)	44	95,55	2
Tratamento 5 ou T5 (16:1)	44	95,55	3

Fonte: Própria.

Green e colaboradores (2019) relataram que as pontas de cigarros reduzem a germinação de sementes de grama em 10%, o que não foi observado nesse estudo. O percentual de sementes de pepino germinadas na presença dos extratos aquosos de pontas de cigarros (T1, T2, T3, T4 e T5) foi alto e bastante similar ao tratamento controle (T0). Suspeita-se que a concentração dos componentes das pontas de cigarros nos substratos e a resistência ou sensibilidade das plantas exerça influência na germinação das sementes.

Em relação ao desenvolvimento das plântulas, observou-se que o comprimento das raízes das sementes germinadas apenas em água destilada (T0) foi superior aos tamanhos das raízes emergidas durante os tratamentos com o extrato aquosos das pontas de cigarros (T1, T2, T3, T4 e T5 (Figura 2).

Figura 2 – Desenvolvimento de plântulas de pepino em extratos aquosos de pontas de cigarros.



Fonte: Própria.

O órgão que sofreu maiores danos foi a raiz, visto que 100,00% de todas as plântulas tratadas com os extratos aquosos de pontas de cigarros atingiram comprimentos menores. Em T5, a anatomia externa das raízes foi bastante prejudicada, bem como o seu tamanho total, sugerindo a incapacidade da planta se fixar no solo e desenvolver-se normalmente. A análise dos dados sobre o crescimento médio das radículas durante o experimento (tabela 2 e gráfico 1) permitiram verificar que houve a redução em tamanho das radículas em relação ao T0 (considerado

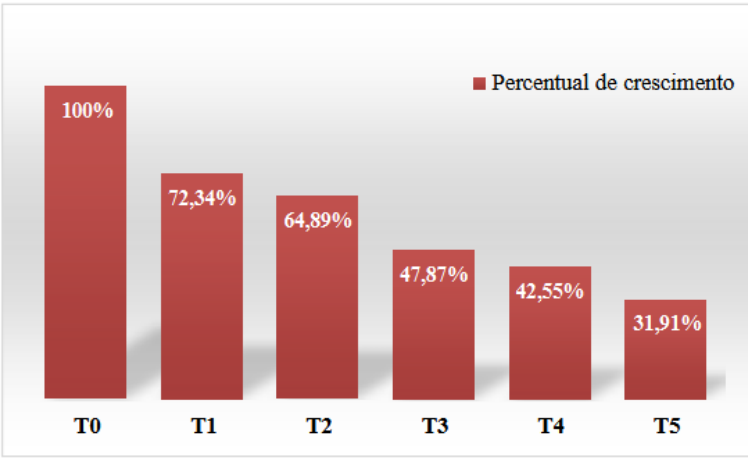
100,00%): 27,66% em T1; 35,11% em T2; 52,13% em T3; 57,45% em T4; 68,09% em T5.

Tabela 2 – Crescimento médio das raízes de pepino submetidas aos extratos aquosos de pontas de cigarros.

Tratamentos	Comprimento médio (cm)
Tratamento controle ou T0 (0:1)	9,4
Tratamento 1 ou T1 (1:1)	6,8
Tratamento 2 ou T2 (2:1)	6,1
Tratamento 3 ou T3 (4:1)	4,5
Tratamento 4 ou T4 (8:1)	4,0
Tratamento 5 ou T5 (16:1)	3,0

Fonte: Própria.

Gráfico 1 – Efeitos dos extratos aquosos de pontas de cigarros em raízes de pepino.



Fonte: Própria.

Houve um decréscimo gradual do tamanho das raízes, à medida em que a concentração dos extratos aquosos aumentou, sugerindo a maior sensibilidade das plântulas aos componentes das bitucas. Tais resultados estão de acordo com Tamashiro *et al.* (2009) e Martins (2008), ao relatarem que o produto da queima do cigarro gera mais de 4000 compostos químicos nocivos e que as pontas de cigarros são compostas por chumbo, arsênico, cádmio, níquel e cobre, entre outros, prejudicando o ciclo de vida dos organismos. Segundo Taiz *et al.* (2017), as plantas necessitam de metais como nutrientes para o desenvolvimento,

já que participam da estrutura de biomoléculas, auxiliam as atividades enzimáticas e os mecanismos de sinalização celular. Entretanto, Baird (2002) explica que se a dosagem de metais estiver acima dos níveis essenciais à planta, tais elementos podem desencadear efeitos morfo-fisiológicos danosos, induzindo deformidades e, ou morte prematura.

Conclusão

Nesse estudo, os componentes das pontas de cigarros não alteraram a capacidade germinativa das sementes de pepino. Entretanto, as bitucas foram prejudiciais ao crescimento das radículas. O dano em crescimento radicular foi proporcional à concentração do extrato aquoso, sugerindo que os resíduos dos cigarros prejudicam o desenvolvimento dessas plantas.

Referências

BAIRD, Colin. **Química Ambiental.** Porto Alegre: Bookman, 2002, 622p.

FLEURY, F. Bituca de cigarro é maior fonte de lixo nos oceanos, diz ONG. Tecnologia e Ciência. 2018. Disponível em: https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/bituca-de-cigarro-e-maior-fonte-de-lixo-nos-oceanos-diz-ong-12092018 / Acesso em: 02 dez. 2024.

GREEN D. S.; BOOTS, B.; CARVALHO, J. D. S. C.; STARKEY, T. "Cigarette butts have adverse effects on initial growth of perennial ryegrass (gramineae: Lolium perenne L.) and white clover (leguminosae: Trifolium repens L.)". **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 182, n.30, October 2019, pg. 112-152.

JUNG, A. A.; TOCCHETTO, M. R. L.; GONÇALVES, J. A. Papas-bitucas: Coletor para o descarte correto de bitucas de cigarro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL,2014,PortoAlegre,Anais…PortoAlegre:2014. Disponívelem: http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id879.pdf Acesso em: 23 de janeiro de 2024.

LOPES, A. N.; KUHN, A. V.; PEREIRA, A. R. A.; BARRELLA, W. "*Descarte irregular de resíduos de cigarro nas ruas Oswaldo Cruz e Lobo Viana, Santos (BRASIL)*". **UNISANTA Bioscience**, v. 9, n. 2, 2020. p. 114 – 123.

MARTINS, S. D. S. **Caracterização de Fumo Inalável de Cigarro Quanto a Alguns Compostos Orgânicos Voláteis e Muito Voláteis**. Tese de Mestrado em Química, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2008. 108p.

MOERMAN, J. W.; POTTS, G. E. "*Analysis of metals leached from smoked cigarette litter*". **Tobacco Control**, v. 20, n. 1, 2011, p. 30-35.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). OMS alerta sobre impacto ambiental da indústria do tabaco. 2022. Disponível em: https://www.paho.org/pt/noticias/31-5- 2022-oms-alerta-sobre-impacto-ambiental-da-industria-do-tabaco Acesso em: 19 dez. 2024.

PULS, J.; WILSON, S. A.; HÖLTER, D. “Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: a review”. **J. Polymers And The Environment**, v. 19, n. 1, 2010, p. 152-165.

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER IM, MURPHY A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858p.

TAMASHIRO, E; XIONG, G; ANSELMO-LIMA, W.T; KRIENDLER, J; PALMER, J.N; COHEN, N.A. “Cigarette smoke exposure impairs epithelial respiratory ciliogenesis”. **Am J Rhinol Allergy**, v.23, n.2, 2009, pg.117-22.

O conceito *digital twin* aplicado para prognóstico e mitigação dos efeitos da inundação nas cidades às margens da Lagoa dos Patos

Elisa Helena Fernandes[1], Glauber Acunha Gonçalves[2]
[1] *Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Instituto de Oceanografia (fernandes.elisa@gmail.com)*
[2] *Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Centro de Ciências Computacionais (glauberacunha@gmail.com)*

Resumo: As regiões costeiras estão entre as áreas mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas globais, com suscetibilidade direta a eventos climáticos extremos. Estes eventos causam problemas de segurança para a população devido à ocorrência de ondas mais altas e ao aumento do nível do mar na costa, fortes precipitações e inundações, estiagens extremas e condições de ventos severos (ciclones). Portanto, as regiões costeiras requerem estudo científico dedicado ao entendimento de causas, riscos e impactos dos eventos extremos, bem como ao desenvolvimento de ferramentas e medidas de prevenção que apoiem a emissão de alertas de risco, visando mitigar os impactos à sociedade e promover resiliência e sustentabilidade nas regiões atingidas. Particularmente no Brasil, a ausência de políticas públicas voltadas à prevenção e mitigação dos impactos destes eventos extremos nas regiões costeiras agrava este cenário, conforme observado no evento de inundação de maio de 2024 no Rio Grande do Sul. Neste contexto, soluções tecnológicas inovadoras associadas a recursos de livre acesso podem ser valiosas para a garantir a segurança da população e do patrimônio público e privado, subsidiando a proposição de políticas públicas efetivas e a construção de regiões costeiras resilientes.

Palavras-chave: Gêmeos digitais. Eventos extremos. Prevenção.

The Digital Twin *concept applied to predict and mitigate the effects of flooding in cities around Patos Lagoon*

Abstract: Coastal regions are among the most vulnerable areas to the impacts of global climate change, with direct susceptibility to extreme weather events. These events cause safety problems for the population due to the occurrence of higher waves and rising sea levels on the coast, heavy rainfall and flooding, extreme droughts and severe wind conditions (cyclones). Therefore, coastal regions require scientific study dedicated to understanding the causes, risks and impacts of extreme events, as well as the development of tools and prevention

measures that support the issuance of risk alerts, aiming to mitigate impacts on society and promote resilience and sustainability in the affected regions. Particularly in Brazil, the absence of public policies aimed at preventing and mitigating the impacts of these extreme events in coastal regions worsens this scenario, as observed in the May 2024 flood event in Rio Grande do Sul. In this context, innovative technological solutions associated with freely accessible resources can be valuable in ensuring the security of the population and public and private heritage, supporting the proposition of effective public policies and the construction of resilient coastal regions.

Key words: Digital twin. Extreme events. Prevention.

Introdução

Desde o final do Século XX, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) vem apresentando evidências do impacto humano irreversível sobre o clima (IPCC, 1995; 2001), com projeções de que o permanente aquecimento global vai intensificar ainda mais a severidade e frequência dos eventos extremos, tais como ondas de calor, chuvas e estiagens intensas (IPCC, 2023). Como consequência, o risco de desastres naturais e de impactos setoriais na segurança hídrica, alimentar, energética, social e da saúde, representa grandes desafios ao Brasil e ao mundo neste século.

O ano de 2024 foi considerado o mais quente dos últimos séculos. Entre o final de abril e início de maio de 2024, as maiores inundações já observadas no Brasil em 125 anos de dados ocorreram no estado do Rio Grande do Sul (Collischonn *et al.*, 2024a, b; Marengo *et al.*, 2024). Enchentes rápidas com níveis extremos de água ocorreram em regiões montanhosas, enquanto nas áreas mais baixas as cheias tiveram longa duração. Este desastre ocupa a primeira posição no Brasil em número de pessoas deslocadas e danos a propriedades e infraestruturas, somando quase 200 vítimas fatais (Pillar & Overbeck, 2024).

As metodologias convencionais de monitoramento da dinâmica de ambientes costeiros que geram alertas de desastres naturais com precisão e rapidez normalmente utilizam abordagens baseadas em dados de campo, no entanto, fornecem informações geralmente limitadas no espaço e no tempo. Além disso, essas informações valiosas muitas vezes não estão prontamente disponíveis para gestores e tomadores de decisão. Outro fator de alto impacto na baixa eficiência destes métodos convencionais é a escassez de produtos cartográficos adequados para representar os territórios onde os processos produzem impactos. Estas limitações resultam numa compreensão insuficiente da variabilidade

espaço-temporal do impacto do evento no meio físico, o que torna difícil prever como estas áreas responderão a tais eventos meteorológicos e hidrológicos, impedindo mitigar seus efeitos.

Soluções tecnológicas inovadoras associadas a recursos de livre acesso podem ser valiosas para a (re)construção de regiões costeiras resilientes. A ciência contemporânea internacional apresenta o conceito Digital Twins (Gêmeos Digitais) como uma alternativa tecnologicamente robusta que se expandiu consideravelmente na última década devido ao crescimento da computação de bancos de dados, Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) (Voosen, 2020), gerando réplicas virtuais de ambientes naturais (Pillai *et al.*, 2022).

A Sociedade Brasileira de Computação (SBC), propôs soluções digitais voltadas à sustentabilidade e mudanças climáticas (Pias e Macêdo, 2022), apresentando ações estratégicas e destacando o uso de Digital Twins para integrar sistemas e dados ambientais, permitindo simulações e suporte à tomada de decisões (Pias *et al.*, 2023). Em 2022, a International Federation for Information Processing (IFIP) criou a Força-Tarefa de Tecnologias Digitais e Mudanças Climáticas para explorar o uso de tecnologias digitais no combate às mudanças climáticas. O relatório final apresenta estratégias, desafios e recomendações para governos, indústria e setores estratégicos, enfatizando educação, conscientização pública e o papel crítico das tecnologias digitais na mitigação climática (Macêdo *et al.*, 2024).

Dentro deste contexto e seguindo estes desenvolvimentos, o primeiro Digital Twin ambiental do Brasil está sendo consolidado no Centro Interinstitucional de Observação e Previsão de Eventos Extremos (CIEX), na Universidade Federal do Rio Grande (FURG), e está baseado em conjuntos de dados meteorológicos, oceanográficos e geodésicos combinados com modelos numéricos de previsão e métodos de inteligência artificial e visão computacional, que fornecem uma réplica virtual do ambiente, o Digital Twin Lagoa dos Patos (DT – LAGOA) (Fig. 1). Esta metodologia foi amplamente testada e validada durante o evento de inundação de maio de 2024 quando, em função do estímulo científico e da demanda das forças de segurança pública, o Comitê de Avaliação e Prognóstico de Eventos Extremos da FURG se organizou para aplicar um modelo colaborativo e integrado para atender a demanda de conhecimento do fenômeno em período imediato a sua chegada aos municípios situados às margens da Lagoa dos Patos.

O conceito do Digital Twin Lagoa dos Patos (DT – LAGOA) é resultante da integração destas metodologias em ambiente virtual funcionamento em tempo real (24 h/7 dias) e será aqui apresentado para possibilitar sua adaptação e replicação nos mais diversos ambientes do território brasileiro como subsídio à necessidade de estabelecimento de políticas públicas voltadas a prevenção e mitigação dos impactos de eventos extremos nas regiões costeiras.

O conceito do Digital Twin Lagoa dos Patos (DT – LAGOA)

Figura 1 – Dados meteorológicos (precipitação, ventos), geodésicos (do terreno) e oceanográficos (nível) alimentam o ambiente virtual para a adequada observação das condições ambientais em tempo real, e são utilizados para a qualificação dos modelos numéricos (hidrológico e hidrodinâmico) e de modelos computacionais de Inteligência Artificial (modelo de inundação), gerando previsões sobre o comportamento hidrodinâmico da Lagoa dos Patos e os impactos sobre os municípios localizados às suas margens. Estas previsões foram utilizadas para tomada de decisão pelas forças de segurança pública durante o evento de inundação de maio de 2024.



Aplicação do Digital Twin Lagoa dos Patos (DT – LAGOA)

Os pilares de um sistema de informação para atendimento às demandas complexas relacionadas ao enfrentamento de eventos extremos, são i. a existência de dados atualizados, precisos, em formato adequado ao consumo de diversas tecnologias; ii. o domínio de softwares especialistas executando em plataformas de hardware robustas; iii.

recursos humanos qualificados, com experiência na atuação em rede de cooperação e no atendimento de necessidades em produção contínua. O desempenho do modelo de ações aplicado em Rio Grande para o enfrentamento ao evento de maio de 2024 deve-se, justamente, ao fato destes pilares estarem consolidados e disponíveis em um mesmo local, à cooperação entre Instituições de Ensino Superior (IES) regionais e à cooperação direta com uma equipe de comunicação social, competente para transformar os complexos resultados produzidos em informações de fácil compreensão pela população.

Os dados fundamentais para os resultados obtidos podem ser classificados quanto ao tempo envolvido em sua geração e provisão em duas classes: (i) dados obtidos em longo período de observação e (ii) dados obtidos especificamente durante o evento. No primeiro grupo estão a morfologia dos corpos d'água, a topografia do terreno, o mapeamento das ocupações de caráter urbano e rural, as séries históricas de parâmetros meteorológicos e hidrográficos. No segundo grupo, os dados medidos em tempo real, especialmente medidas de nível dos corpos d'água, os dados de estações meteorológicas automáticas na região de interesse, a vazão dos contribuintes da Lagoa dos Patos, e as saídas de modelos meteorológicos prognósticos. Assim, evidentemente, o sucesso de um sistema de alerta efetivo está na manutenção, ao longo do tempo, de métricas territoriais (levantamentos batimétricos e topográficos, imageamentos em alta resolução) e de sistemas de sensores telemétricos (estações meteorológicas e hidrográficas, especialmente as medidas de nível d'água).

No estudo de caso aqui tratado, entende-se que projetos de cooperação técnica e produção tecnológica entre IES's, como a FURG, e agentes de gestão pública, como a Prefeitura Municipal de Rio Grande e a Portos RS (empresa pública de gestão do Porto do Rio Grande), foram fundamentais para que dados de alta qualidade estivessem disponíveis para utilização imediata no período de ocorrência das inundações de 2024. Ao longo dos últimos 10 anos, informações sobre os territórios de Rio Grande, São José do Norte e São Lourenço do Sul, todas cidades às margens da Lagoa dos Patos, foram coletadas e registradas em função de oportunidades de aplicação do conceito de cadastro multifinalitário, regularização fundiária e monitoramento ambiental. E estes dados foram registrados em bases geotecnológicas de alta resolução, ou seja, com imagens aéreas das áreas urbanas, com modelos de terreno

ajustados e reduzidos aos referenciais do Sistema Geodésico Brasileiro (IBGE), e com registros vetoriais representando as principais feições de uso e cobertura do solo.

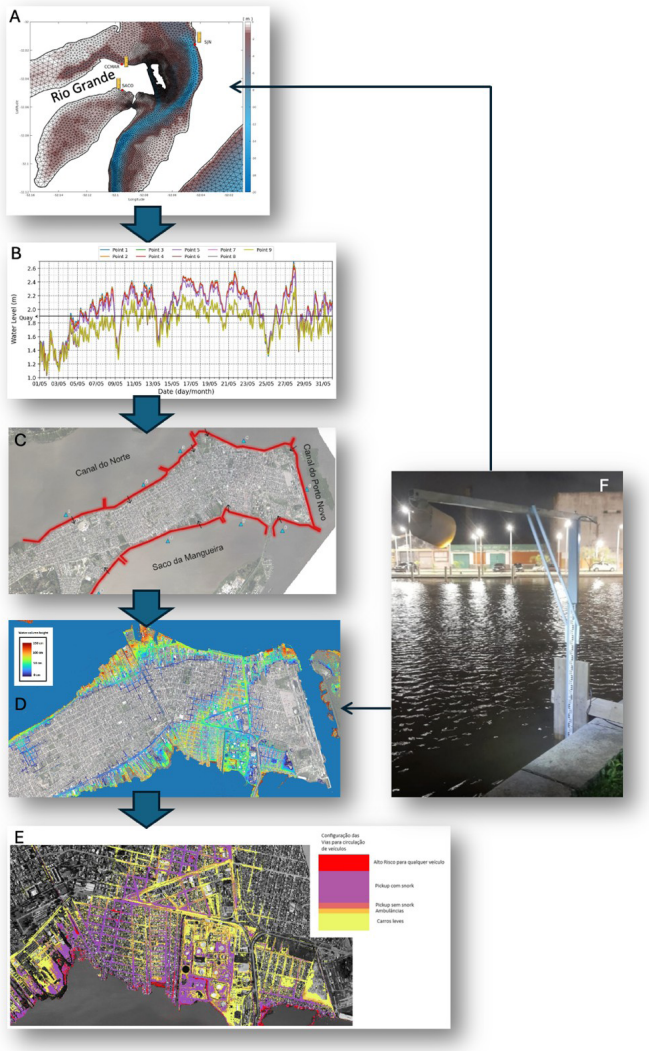
A Figura 2 apresenta os resultados da integração destas informações para a cidade de Rio

Grande durante o evento de maio de 2024 no dia de máxima inundação (16 de maio). O modelo hidrodinâmico da Lagoa dos Patos (Fig. 2A) forneceu a previsão do comportamento do nível para diferentes pontos ao redor da cidade de Rio Grande (Fig. 2B). Estes dados alimentaram o modelo computacional de segmentação da orla partindo desses mesmos pontos (Fig. 2C), resultando no modelo de inundação da cidade (Fig. 2D) sobre o modelo digital de terreno de Rio Grande. Esse produto foi então aplicado sob diversas técnicas de representação, gerando subprodutos customizados entregues à população e às forças da defesa civil que avaliaram as melhores alternativas para a segurança da população e da infraestrutura da cidade. Um exemplo de aplicação imediata dos resultados produzidos é apresentado na Figura 2E, onde são representadas as vias públicas classificadas em relação a segurança para o tráfego de diversas classes de veículos em função da altura da lâmina d'água nestas vias. Esse dado permitiu o melhor planejamento da operação de evacuação do Hospital Universitário da FURG e o resgate seguro da população localizada nas regiões mais atingidas durante o evento. Os dados da Rede de Monitoramento de Nível (Fig. 2F) foram disponibilizados à comunidade com resolução horária para o permanente acompanhamento da situação de inundação na cidade e validação em tempo real das previsões das condições de inundação e do modelo hidrodinâmico.

O resultado final do processamento, entretanto, pode ainda ser visualizado sob diversos formatos, dentre os quais, em mapas planos mostrando a extensão da mancha. Porém, observamos que detendo precisamente a cota do terreno nas posições alagadas e sabendo-se o valor do nível da água simulado na orla (entregue pelo modelo hidrodinâmico), com uma operação aritmética simples de subtração, podemos obter o valor da espessura da lâmina d'água em todos os pontos inundados. E isso foi realizado como uma saída padrão, onde a representação numa escala de cores específica permitiu a divulgação à comunidade e aos agentes de segurança desse parâmetro fundamental, a altura da água sobre o terreno em cada ponto da cidade inundada (Figura 3).

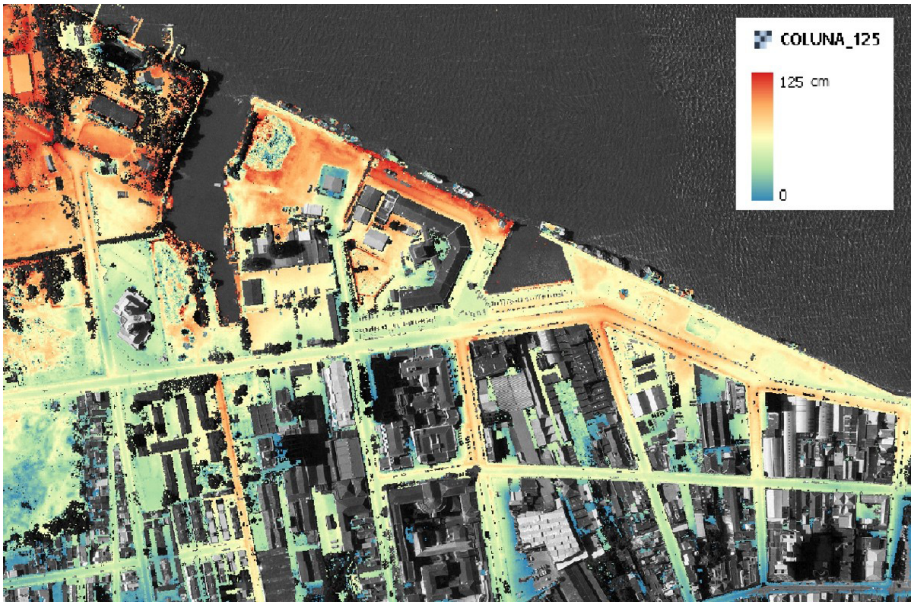
O conceito do DT – LAGOA aplicado à inundação de maio de 2024 em Rio Grande.

Figura 2 – A) Detalhe da grade numérica do modelo hidrodinâmico ao redor da cidade de Rio Grande, B) previsão do comportamento do nível calculada pelo modelo hidrodinâmico em pontos ao redor de Rio Grande alimentando o C) modelo computacional de segmentação nestes mesmos pontos, resultando no D) modelo de inundação, onde a escala de cores indica a altura de água nas ruas da cidade no dia de máxima inundação (16 de maio). E) Uma aplicação das informações geradas é o tipo de veículo que podia trafegar pelas ruas da cidade de Rio Grande em 16 de maio. F) Linígrafo instalado no CCMar-Rio Grande disponibilizando dados de nível com resolução horária para o permanente acompanhamento da situação de inundação na cidade e validação em tempo real das previsões das condições de inundação e do modelo hidrodinâmico.



Altura da água sobre o terreno em cada ponto da cidade inundada de Rio Grande no dia de máxima enchente (16 de maio de 2024).

Figura 3 – Para uma cota de 1.25 metros de elevação do nível do estuário (sendo zero o nível da pedra do cais do CCMAR) as cores da imagem, conforme a legenda, indicam a altura da lâmina d'água nas ruas da cidade.

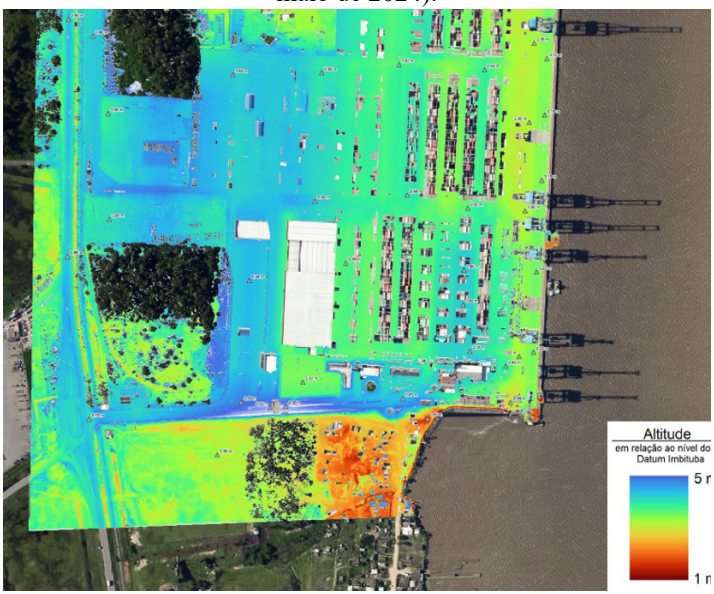


Também, numa lógica de métrica inversa, pôde-se informar aos agentes portuários, sempre que demandado, a distância vertical medida do nível estimado de subida das águas até as estruturas de atracação, ou áreas de manobra, de estacionamento ou armazenamento nos diversos terminais do Porto do Rio Grande. A estes produtos se denominou Mapas de Segurança à Inundação. A Figura 4 ilustra esse produto para o Terminal de Containers do Porto do Rio Grande. Esta metodologia aplicada pela FURG durante o evento extremo de inundação de maio de 2024, foi premiada na categoria artigo técnico-científico do Prêmio ANTAQ 2024 (Fernandes & Gonçalves, 2024) com o trabalho intitulado "Digital Twin Porto do Rio Grande (DT – PORTO): Construindo Prevenção e Resiliência". No contexto deste estudo, o Porto Organizado do Rio Grande foi promovido a um porto inteligente que utiliza sistemas de monitoramento e previsão de última geração para garantir uma operação segura e resiliente durante eventos extremos, contribuindo para a segurança da sociedade, do meio ambiente e da economia da região.

Conclusão

Diante das projeções do IPCC de que o permanente aquecimento global vai intensificar ainda mais a severidade e frequência dos eventos extremos, tais como ondas de calor e chuvas e estiagens intensas, torna-se imperativo que o poder público compreenda a origem e os impactos destes eventos e desenvolva instrumentos eficazes para prever e mitigar os efeitos de futuros desastres. A principal contribuição deste trabalho, é apresentar o conceito do Digital Twin Lagoa dos Patos (DT – LAGOA) para adaptação e replicação nos mais diversos ambientes do território brasileiro. Tal ferramental, pelo seu potencial analítico e preditivo, servirá de subsídio à tomada de decisões quanto às políticas públicas necessárias para a prevenção e mitigação dos impactos de eventos extremos nas regiões costeiras. Isso, em razão da evidente correlação verificada entre a magnitude dos impactos do desastre de maio de 2024 no Rio Grande do Sul e a falta de políticas públicas efetivas de prevenção e resiliência no enfrentamento de eventos extremos.

Figura 4 – Mapa de Segurança à Inundação do Terminal de Containers do Porto do Rio Grande, na condição de máxima elevação do canal durante a enchente (16 de maio de 2024).



Importante destacar que o sucesso da atuação da FURG no contexto da enchente de maio de 2024, em parceria com outras IES's, foi construído com base em dados e ferramentas adquiridos e consolidados

ao longo de décadas de trabalho, que por este motivo estavam prontos para ser mobilizados quando demandado pela sociedade e pelas forcas de segurança da região. Este modelo de integração entre a academia e as forças de segurança deve ser replicado em eventos futuros, e em outras regiões do País, garantindo a segurança das comunidades que vivem em regiões costeiras com custos relativamente baixos. Particularmente na FURG, o fortalecimento desta relação entre a academia e a sociedade, associado ao planejamento de ações de prevenção e resiliência, tem sido prioridade através da consolidação do CIEX – Centro Interinstitucional de Observação e Previsão de Eventos Extremos.

Além disso, através do estudo de caso da condição de inundação de maio de 2024 na cidade de Rio Grande, fica evidente a necessidade da institucionalidade dos procedimentos em diferentes níveis, promovendo uma integração orgânica e sistêmica entre os níveis federal, estadual e municipal. Dentro deste contexto, o estabelecimento de centros regionais subsidiados pelo conhecimento de IES no enfrentamento dos impactos de eventos extremos, bem como na definição de estratégias de prevenção, mitigação e resiliência nas regiões costeiras, é fundamental. Estes centros regionais de monitoramento e previsão terão o papel essencial de gerar informações qualificadas, com alto nível de detalhamento e precisão, para as forças de segurança e defesas civis municipais, facilitando a emissão de avisos e alertas para a população e, também, a definição de estratégias de ação para o resgate e preservação da vida e do patrimônio. O funcionamento destes centros regionais, entretanto, deverá acontecer de forma integrada com os centros estaduais e nacionais, visando o estabelecimento de políticas públicas de caráter abrangente e ancoradas em sistemas de monitoramento e previsão, para adaptação às mudanças climáticas e aos eventos extremos.

Referências

Collischonn, W.; Breda, J.PL.F.; Wongchuig, S.; Ruhoff, A.; Paiva, R.; Fan, F.; Cabeleira, R.; Ramalho, N. (2024a). Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

Collischonn, W.; Fan, F. M.; Possantti, I.; Dornelles, F; Paiva, R.; Sampaio, M.; Michel, G.; Magalhães Filho, F. J. C.; Moraes, S. R.; Marcuzzo, F. F. N.; Michel, R. D. L.; Beskow, T. L. C.; Beskow, S.; Fernandes, E. H. L.; ... (2024b). The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

IPCC (1995). Climate change 1995: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Houghton,

J.T., Meira Filho, L.G, Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K. (eds,)], Cambridge Univ. Press. 63pp.

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp

IPCC (2023). Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 35-115.

Macêdo, R. J. A.; Pias, M.; Liyanage, L.; Cook, D.; Murayama, Y.; Herzog, O.; Kayakutlu, G.; Kreps, D. Digital Technologies for Environmental Sustainability. 2024 IFIP General Assembly. Marengo, J.A., Dolif, G., Cuartas, A., Camarinha, P., Gonçalves, D., Luiz, R. Silva, L., Alvala, R.C.S., Seluchii, M., Moraes, O.L., Soares, W.R., Nobre, C. (2024). O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. Estudos Avançados 38 (112), 2024.

Pias, M. R.; Macêdo, R. J. A.; Clua, E. W. G.; Aguiar, M. S.; Andrade Neto, P. R.; Sá, A. S.; Santos, E. M.; Santos, J. L. C.; Vinhas, L. (2023). Força-Tarefa da Sociedade Brasileira de Computação (SBC): Digital Twin BR – a computação a serviço do planeta. Computação Brasil, 1(50), 39–45. Pias, M. & Macêdo, J.A. (2022). SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (SBC).

Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente: Manifesto SBC. Coordenação de Marcelo Rita Pias e Raimundo José de Araújo Macêdo. Porto Alegre: SBC, Julho/2022. 18p.

Pillai, U. P. A., Pinardi, N., Alessandri, J., Federico, I., Causio, S., Unguendoli, S., Valentini, A., & Staneva, J. (2022). A Digital Twin modelling framework for the assessment of seagrass Nature Based Solutions against storm surges. Science of the Total Environment, 847, 157603.

Pillar, V. e Overbeck, G. (2024). Learning from a climate disaster: The catastrophic floods in southern Brazil. Science, V. 385 (6713). http://dx.doi.org/10.1126/science.adr835

Voosen, P. (2020). Europe builds “digital twin” of Earth to hone climate forecasts. Science, 370, 16–17.

Aplicação do processo combinado Eletrocoagulação/Biocarvão na remoção de cor e efeitos de toxicidade aguda com bioindicador

Luciano André Deitos Koslowski[1], Milena Cristofolini[2], Camila Schwarz Pauli[3], Alexandre Tadeu Paulino[4]

[1]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil (CEAVI), Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada (CCT)/UDESC (luciano.koslowski@udesc.br)

[2]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária /UDESC/CEAVI (milenacr@yahoo.com.br)

[3] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária /UDESC/CEAVI (camilaspauli@hotmail.com)

[4] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada/ UDESC/CCT (alexandre.paulino@udesc.br)

Resumo: A indústria gráfica apresenta em seu processo de produção a geração de efluentes, constituídos por componentes não-biodegradáveis, pigmentos, adesivos, corantes, plastificantes e alta concentração de demanda química de oxigênio. O processo de eletrocoagulação é caracterizado por reações eletrolíticas na superfície dos eletrodos e formação de coagulantes na fase aquosa apresentando vantagens relevantes devido aos efeitos combinados do processo: neutralização de carga, complexação da superfície, a adsorção in situ que forma hidróxidos de metais produzidos pela oxidação e corrosão dos anodos e a adsorção dos poluentes pelas bolhas de gás de hidrogênio formadas no catodo. O presente estudo apresentou como proposta avaliar a remoção de cor e os efeitos toxicológicos empregando o bioindicador *Daphnia magna* em um efluente proveniente de uma indústria gráfica operando em reator batelada, empregando o processo combinado de eletrocoagulação/biocarvão. As seguintes estratégias operacionais foram implementadas para o processo de eletrocoagulação a fim de investigar os efeitos da intensidade de corrente (1, 2 e 3 A) e tempo de eletrólise (20, 30 e 40 min) mantendo uma distância inter-eletrodo de 6 cm. Os resultados apresentados indicam uma redução da cor do efluente gráfico de na ordem de 80% e sem efeitos tóxicos no efluente final empregando o processo combinado Eletrocoagulação/Biocarvão.

Palavras-chave: eletrocoagulação, toxicidade, biocarvão.

Application of the combined Electrocoagulation/ Biochar process in the removal of color and acute toxicity effects with bioindicator

Abstract: The printing industry generates effluents during its production process, containing non-biodegradable components, pigments, adhesives, dyes, plasticizers, and high chemical oxygen demand. The electrocoagulation process involves electrolytic reactions at electrode surfaces and coagulant formation in the aqueous phase, offering significant advantages through combined effects: charge neutralization, surface complexation, in situ adsorption forming metal hydroxides through anode oxidation and corrosion, and pollutant adsorption by hydrogen gas bubbles generated at the cathode. This study aimed to evaluate color removal and toxicological effects using the bioindicator *Daphnia magna* in printing industry wastewater treated by a batch reactor combining electrocoagulation and biochar processes. The following operational strategies were implemented for the electrocoagulation process in order to investigate the effects of current intensity (1, 2 and 3 A) and electrolysis time (20, 30 and 40 min) while maintaining an inter-electrode distance of 6 cm. The results showed that the Electrocoagulation/Biochar process achieved 80% color removal from the graphic effluent with no toxic effects in the final effluent.

Key words: electrocoagulation, toxicity, biochar.

Introdução

As águas residuárias proveniente da tinta de impressão da indústria gráfica apresenta em sua composição complexa mistura de corantes e pigmentos diluídos na água, de elevada carga orgânica e pronunciada coloração (Safwat, 2020). Neste contexto, a escolha adequada de técnicas de tratamento do efluentes são necessárias para possibilitar que os respectivos produtos formados sejam mais adequados ao conceito desenvolvimento sustentável.

O Estado de Santa Catarina, apresenta uma indústria gráfica amplamente diversificada e, constituídas por empresas de pequeno a médio porte. Entretanto, o principal problema observado no setor gráfico, consiste na destinação final dos efluentes e rejeitos industriais gerados. Técnicas eletroquímicas, como eletrocoagulação, eletro-decantação e eletro-flotação, oferecem um método mais barato de tratamento terciário que não depende de produtos químicos ou microrganismos, como processos de coagulação química ou lodo ativado (Perren; Wojtasik; Cai, 2018).

No caso do efluente de tinta gráfica, nos últimos anos técnicas de tratamento tem sido pesquisada, como os processos de eletrocoagula-

ção (EC) (Thuy, N. T., Hoan, N. X., Thanh, D. V., Khoa, P. M., Tai, N. T., Hoang, Q. H., & Huy, N. N., 2021; Papadopoulos, K. P., Argyriou, R., Economou, C. N., Charalampous, N., Dailianis, S., Tatoulis, T. I., & Vayenas, D. V., 2019).

Neste aspecto, o tratamento pela técnica de EC das águas residuárias proveniente da tinta de impressão gráfica tem apresentado excelentes resultados na remoção de cor e DQO (Thuy, N. T., Hoan, N. X., Thanh, D. V., Khoa, P. M., Tai, N. T., Hoang, Q. H., & Huy, N. N., 2021; Safwat , 2020) e, potencial aplicação como técnica alternativa a coagulação química, uma vez que não utiliza produtos químicos, reduzindo a quantidade de lodo e com operação mais simplificada.

No processo de EC ocorre a formação do coagulante in situ no reator eletroquímico, que possui eletrodos de sacrifício, podendo ser de alumínio, zinco ou ferro por exemplo. Na aplicação de um potencial elétrico, os cátions metálicos são formados nos eletrodos por eletrólise, portanto, ocorre a formação de espécies hidrolisadas e de microbolhas de hidrogênio, que são formadas no cátodo do circuito metálico do reator, promovendo a separação das partículas do meio via flotação (Elgarahy, A. M., Eloffy, M. G., Priya, A. K., Yogeshwaran, V., Yang, Z., Elwakeel, K. Z., & Lopez-Maldonado, 2024).

Neste aspecto, o biocarvão (BC) tem sido utilizado em vários estudos devido a sua capacidade de sorção de contaminantes orgânicos e inorgânicos. O biocarvão é um material poroso rico em carbono produzido por meio de tratamento termoquímico (pirólise ou carbonização) de biomassa orgânica em ambientes na ausência ou limitada concentração de oxigênio. O biocarvão apresenta vantagens econômicas, pelo fato de permitir sua reutilização como um resíduo de biomassa, minimizando os impactos de sua disposição final exaustiva (Lopes; Astruc, 2021). Devido a reutilização de materiais que seriam descartados, o biocarvão apresenta um custo inferior ao carvão ativado. Assim, o biocarvão pode ser obtido por processos de pirólise de conversão à baixa temperatura (CBT) de uma biomassa. Sua aplicação como material adsorvente vem sendo amplamente estudada em função do seu poder de adsorção, uma vez que no processo de conversão da biomassa se busca obter materiais com melhores propriedades físico-químicas.

O processo de formação do biocarvão promove um rearranjo dos átomos de carbono, aumentando a porosidade do material, ou seja, confere melhoria nas propriedades químicas, resultando em aumento

da superfície específica seguindo-se de aumento da capacidade de troca de cátions e adsorção de nutrientes (Trazzi, P. A., Higa, A. R., Dieckow, J., Mangrich, A. S., & Higa, R. C. V., 2018). Da mesma forma, a produção de biocarvão à temperatura superior a 400 ºC são mais efetivos na sorção de matéria orgânica devido à grande área superficial formada e pelo desenvolvimento de microporos (Kalinke, C., de Oliveira, P. R., Bonacin, J. A., Janegitz, B. C., Mangrich, A. S., Marcolino-Junior, L. H., & Bergamini, M. F., 2021).

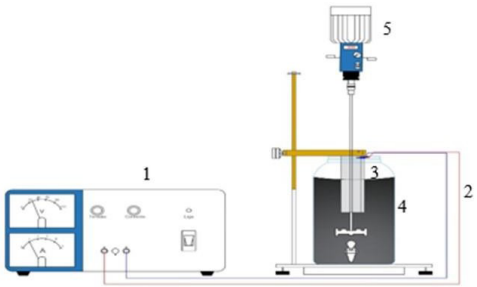
O bioindicador *Daphnia magna* (Crustacea, Cladocera) empregado na avaliação da toxicidade de contaminantes químicos apresenta algumas vantagens na realização de testes de biotoxicidade: estabilidade genética; representatividade do seu nível trófico; avaliação dos efeitos agudos e crônicos de químicos tóxicos; e seletividade constante e elevada aos contaminantes (Koslowski, L. A. D., Licodiedoff, S., Simionatto, E. L., Scharf, D. R., Vaz, C., & Riella, H. G., 2020).

O presente trabalho apresenta como objetivo o tratamento de efluente proveniente da indústria gráfica, pois este tipo de água residuária apresenta compostos tóxicos e de difícil biodegradabilidade. Logo, a proposta de tratamento é o processo combinado EC/BC, de maneira a avaliar a remoção de cor e a toxicidade aguda com o bioindicador *Daphnia magna* da água residuária proveniente do processo combinado a aumentar a eficiência do tratamento.

Materiais e Método

O processo EC/BC combinado foi realizado empregando um aparato experimental, conforme esquema descritivo apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Aparato experimental do processo combinado EC/BC.



1)Fonte de energia; 2) Fios de transmissão; 3) Eletrodos; 4) Béquer com efluente; 5) Agitador Mecânico.
Fonte: do autor (2025)

O tratamento por EC da água residuária proveniente da tinta gráfica de impressão foi realizada empregando uma fonte de corrente contínua de energia (LABO 2845 115 VCA, Brasil), com uma faixa de corrente de 0 a 5 A, e tensão ajustável de 0 a 20 V, com o auxílio de um sistema de agitação mecânica digital (IKA RW 20, Brasil), com velocidade de 300 rpm, em um reator eletroquímico de borossilicato com capacidade de 3 L. O biocarvão empregado no experimento, provém de uma Unidade de Cogeração de Energia do Estado de Santa Catarina, que produz energia elétrica. A indústria de cogeração a partir da biomassa, utiliza resíduos de madeira como combustível, com capacidade de geração de 28 MW. As estratégias do estudo foram delineadas a partir de ensaios testes, avaliando valores dissemelhantes de corrente elétrica, distância dos eletrodos e tempo de eletrólise do processo de EC, observando assim a melhor condição de tratamento da água residuária proveniente da tinta de impressão gráfica.

A este respeito, foram definidas as estratégias (Tabela 1), com os respectivos valores e parâmetros de estudo: corrente elétrica (1, 2 e 3 A) e o tempo de eletrólise (20, 30 e 40 minutos). A concentração do eletrólito (NaCl) foi fixada em 1g L^{-1} NaCl, distância dos eletrodos de 6 cm, e a velocidade de agitação em 300 rpm. Conforme a Tabela 1, com a utilização de 2 parâmetros com 3 níveis cada, a matriz ortogonal de Taguchi adequada para esta situação é a L9.

Tabela 1 – Parâmetros operacionais do processo de EC (n = 2)

	Parâmetros operacionais		
Estratégia	**Distância dos eletrodos (cm)**	**Intensidade da corrente (A)**	**Tempo de eletrólise (min)**
E1	6	1	20
E2	6	1	30
E3	6	1	40
E4	6	2	20
E5	6	2	30
E6	6	2	40
E7	6	3	20
E8	6	3	30
E9	6	3	40

Fonte: do autor (2025).

Os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com o procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). Os ensaios físico-químicos foram realizados por meio da determinação de pH via método eletrométrico (Hanna HI 3221, SMEWW-4500H+.B) e cor verdadeira (Hach Modelo DR/2010, SMEWW-2120D). Os ensaios de toxicidade aguda foram realizados utilizando o micro crustáceo *Daphnia magna*. As análises foram realizadas de acordo com a NBR 12.713 – Ensaio de toxicidade aguda com *Daphnia magna* (Crustacea, Cladocera) (ABNT, 2016), no que diz respeito ao cultivo, manutenção e verificação da sensibilidade dos organismos testes. Os organismos-teste utilizados nos ensaios são neonatos do gênero *Daphnia magna*, obtidos por partenogênese, a partir da segunda postura, com idade entre 2 h e 26 h, obtidos a partir de fêmeas com idade entre 10 dias e 60 dias. Os testes de controle com a espécie *D. magna* (controle negativo) foram realizados utilizando 20 mL de solução teste de água natural. Foram adicionados cinco indivíduos por repetição, em quadruplicada. O ensaio foi mantido a 20 °C ± 2 °C durante 48 h, em ambiente escuro com fotoperíodo de 8 h de luz difusa e 16 h em ambiente escuro (Câmara de germinação Tecnal TE-402, Brasil).

Resultados e Discussão

Ensaios físico-químicos: Cor Verdadeira e pH

Os resultados dos ensaios de cor verdadeira e o porcentual de remoção de cor, encontram-se representadas na Tabela 2, conforme parâmetros operacionais adotados para os ensaios de EC e uso de meio filtrante BC.

Tabela 2 – Dados obtidos da remoção de cor empregando o processo EC/BC combinado.

Cor Verdadeira			
Estratégia	**EC (mg Pt L^{-1})**	**EC/BC combinado (mg Pt L^{-1})**	**(%) Remoção de cor EC/BC combinado**
E1	7,8	5,0	85,92
E2	6,9	5,0	85,92
E3	6,5	5,0	85,92

E4	7,0	5,0	85,92
E5	6,2	5,0	85,92
E6	5,9	5,0	85,92
E7	6,0	5,0	85,92
E8	5,9	5,0	85,92
E9	5,3	5,0	85,92
Efluente Bruto	35,5	-	-

Fonte: do autor (2025).

De acordo com a resolução Conama 357/430, o valor máximo permitido para esse parâmetro é de 75 mg.Pt L^{-1}, desta forma, como podem ser observados os resultados para o processo EC/BC combinados se encontram abaixo de 8 mg Pt L^{-1}. O porcentual de remoção da cor verdadeira permaneceu na ordem de 85,92% para o processo EC/BC combinado.

Os ensaios experimentais com a intensidade de corrente elétrica (ICE) mais elevada (3A), alcançaram as melhores eficiências no tratamento via EC. Lach, C. E., Pauli, C. S., Coan, A. S., Simionatto, E. L., & Koslowski, L. A. D., 2022, reportaram em sua pesquisa que um aumento na ICE assegura uma transferência de íons do eletrodo para o meio aquoso, com aumento da velocidade da reação, propiciando a formação de coagulante/floculante necessários para os mecanismos de remoção de cor no meio. Nesse aspecto, o aumento da intensidade da corrente proporciona um aumento na taxa de transferência iônica do eletrodo, favorecendo a formação de um agente floculante (íons alumínio) e, resulta em um aumento na remoção de cor do efluente bruto (Niza, N. M., Yusoff, M. S., Zainuri, M. A. A. M., Emmanuel, M. I., Shadi, A. M. H., Hanif, M. H. M., & Kamaruddin, M. A., 2021). A condutividade dos eletrólitos varia muito com suas concentrações, e um aumento na concentração do eletrólito na solução promove um aumento na condutividade elétrica da solução até atingir um ponto máximo. Em relação à adição do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) ao efluente, observou-se redução da cor em todos os testes.

No presente estudo, todos os ensaios apresentam-se em conformidade com a resolução Conama 357/2005. O valor de pH inicial da água residuária da tinta gráfica apontou valores iniciais entre 7,10 e 7,50. Após a etapa de tratamento da água residuária, os valores de pH final obtidos foram ligeiramente elevados entre 7,68 e 8,23. Os dados

de pH são bastante próximos aos obtidos por meio do tratamento de águas residuárias da indústria gráfica via EC empregando eletrodos de alumínio por Papadopoulos, (7,30 a 7,50) empregando 30 min de tempo de eletrólise e densidade de corrente de 83.33 mA cm^{-2} e por Safwat utilizando eletrodos de titânio (pH=7,50) empregando 30 min de tempo de eletrólise e densidade de corrente de 20 mA cm^{-2}.

Desse modo, para valores distintos de densidade de corrente (DC), o pH aumentou em função do tempo de eletrólise. Portanto, presume-se que as reações ocorridas no cátodo são responsáveis pelo aumento do pH, pois as moléculas de água recebem elétrons para formação de íons hidroxila e formação das bolhas de hidrogênio. Neste aspecto, um aumento de pH no processo de eletrocoagulação com eletrodos de alumínio pode estar relacionado à acidez de íons alumínio e ferro que compensam a formação de íons OH^- no cátodo (Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. 2017).

Ensaios toxicológicos

Os ensaios toxicológicos foram realizados por meio do método quantitativo, ou seja, realizada por meio de várias diluições da amostra ou do qualitativo, sendo realizada diretamente na amostra. Após o ensaio, foi obtido a Concentração Efetiva Mediana (LC_{50}), onde a concentração do efluente causa um efeito agudo de 50% dos organismos em um certo tempo de exposição, e o Fator de Toxicidade (FT) onde expressa a menor diluição do efluente que não cause danos aos organismos em um certo tempo de exposição. Os resultados dos ensaios da LC_{50} foram avaliados estatisticamente com o auxílio do software Trimmed Spearman-Karber Method versão 1.5. Deste modo, o resultado expresso LC_{50} foi obtido conforme ABNT NBR 12.713/2016. Foram utilizados os micros crustáceos *Daphnia magna*, como bioindicadores, desta maneira foi caracterizada as amostras da água residuária bruta (LC_{50}= 7,93%) e as amostras do processo de tratamento combinado EC/BC conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados obtidos da remoção de cor empregando o processo EC/BC combinado.

Estratégia	**EC-LC_{50}**	**EC/BC combinado – LC_{50}**
E1	12,50%	51,96%
E2	20,69%	58,24%

E3	23,76%	63,12%
E4	29.12%	Sem efeito
E5	35,70%	Sem efeito
E6	Sem efeito	Sem efeito
E7	Sem efeito	Sem efeito
E8	Sem efeito	Sem efeito
E9	Sem efeito	Sem efeito

Fonte: do autor (2025)

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, o valor de LC50 encontrado para o efluente com águas residuais da indústria gráfica foi de 7,93% ± 3,41, enfatizando o caráter tóxico do efluente. De acordo com a estratégias E1, E2, E3, E4 e E5 para os ensaios de EC e as estratégias E1, E2 e E3 para o processo EC/BC combinado apresentaram valores da LC50 referente a carga tóxica inferiores ao apresentado pela água residuária, considerando que a LC50 apresenta uma relação inversa à toxicidade. Os dados das estratégias E7, E8 e E9 sugerem que o aumento da intensidade de corrente elétrica (ICE) empregada (3 A) promove uma eletrodissolução da placa anódica e, a quantidade de alumínio oxidada aumenta tendo por resultado uma quantidade maior de precipitado para a remoção dos poluentes. Além disso, a densidade das bolhas aumenta e seu tamanho diminui com aumento da densidade de corrente, tendo por resultado um fluxo ascendente maior e uma remoção mais rápida dos poluentes e flotação do lodo. Em relação ao emprego de biocarvão para a técnica combinada EC/BC para a remoção de poluentes inorgânicos metálicos através do mecanismo de sorção no BC, foi observado que as estratégias que apresentaram maior ICE (2 e 3 A) e emprego do biocarvão não apresentaram efeitos tóxicos finais nos bioindicadores. Portanto, o sistema combinado EC/BC apresenta-se como alternativa promissora para remoção de contaminantes que apresentam baixa biodegradabilidade. Os mecanismos de adsorção e redução da superfície do BC podem ser efetivamente usados para tratar águas residuárias de tinta gráfica poluídas, visto que a superfície do BC estará carregada negativamente, o que justifica o maior acúmulo de cátions. Não obstante, diferentes estudos têm sugerido que há um aumento da capacidade de adsorção de contaminantes orgânicos no biocarvão pelo aumento de oxigênio contendo grupos funcionais, par-

ticularmente devido as interações π-π de doador /aceptor de elétrons (Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z., 2015).

Conclusão

O objetivo principal do estudo foi avaliar a eficiência do processo EC/BC combinado em relação ao tratamento das águas residuárias proveniente da indústria gráfica e avaliar a toxicidade aguda com o uso de um bioindicador da espécie *Daphnia magna Cladocera Daphniidae* quanto a mobilidade e letalidade dos indivíduos por meio do teste LC_{50} – concentração efetiva mediana.

As melhores condições operacionais para o sistema combinado EC/BC foram obtidas com ICE de 3 A e tempo de eletrólise de 40 minutos. Neste aspecto, sugere-se que um aumento da ICE no processo de EC favorece a formação de íons Al^{+3}, provocando um desequilíbrio em relação aos mecanismos de adsorção e neutralização em relação as cargas envolvidas nos coloides. Os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade aguda deste estudo indicam que o processo de EC/BC combinado constituem uma alternativa interessante na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos. O biocarvão, desempenhou elevada capacidade de sorção do alumínio residual, demonstrando que a área superficial do BC aumenta com a ativação química do tratamento químico modificado da superfície.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. 22p. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12713: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com Daphnia spp (Crustacea, Cladocera). 4 ed. Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA: **Standard methods for the examination of water and wastewater**. APHA: 22ª. ed. Washington, 2012.

CONAMA. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

ELGARAHY, Ahmed M. *et al.* A review on the synergistic efficacy of sonication-assisted water treatment process with special attention given to microplastics. **Chemical Engineering Research and Design,** 2024.

HAKIZIMANA, Jean Nepo *et al.* Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v. 404, p. 1-21, 2017.

KALINKE, Cristiane *et al.* State-of-the-art and perspectives in the use of biochar for electrochemical and electroanalytical applications. **Green chemistry**, v. 23, n. 15, p. 5272-5301, 2021.

KOSLOWSKI, Luciano Andre Deitos *et al.* Assessment of the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and acute toxicity using diesel/butanol in a wet discharge pilot system for river boats. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 103532, 2020.

LACH, Carlos Eduardo *et al.* Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on Daphnia magna test organisms. **Journal of Water Process Engineering**, v. 45, p. 102485, 2022.

LOPES, Renata Pereira; ASTRUC, Didier. Biochar as a support for nanocatalysts and other reagents: Recent advances and applications. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 426, p. 213585, 2021.

NIZA, Noorzalila Muhammad *et al.* Removal of ammoniacal nitrogen from old leachate using batch electrocoagulation with vibration-induced electrode plate. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 2, p. 105064, 2021.

PAPADOPOULOS, Konstantinos P. *et al.* Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation**. Journal of environmental management,** v. 237, p. 442-448, 2019.

PERREN, William; WOJTASIK, Arkadiusz; CAI, Qiong. Removal of Microbeads from Wastewater Using Electrocoagulation. **Acs Omega**, v. 3, n. 3, p.3357-3364, mar. 2018.

SAFWAT, Safwat M. Treatment of real printing wastewater using electrocoagulation process with titanium and zinc electrodes**. Journal of Water Process Engineering**, v. 34, p. 101137, 2020.

TAN, Xiaofei *et al.* Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70-85, 2015.

THUY, Nguyen Thi *et al.* Application of electrocoagulation for printing wastewater treatment: from laboratory to pilot scale. **Journal of Electrochemical Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2021.

TRAZZI, Paulo André *et al.* Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018.

Índice de sombreamento da Wisteria Floribunda usada em um sistema de fachada verde

Valéria Dias Osorio[1], Emily Samanta Bublitz, Anelise Jung Reis, Vitória Tesser Martin, Rutineia Tassi, Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Universidade Federal de Santa Maria (valeria.osorio174@gmail.com; emily.bublitz@acad.ufsm.br; reislise@gmail.com; vitoriatmartin@gmail.com; rutineia@gmail.com; dga@ufsm.br)

Resumo: O sombreamento e isolamento térmico promovidos pelas fachadas verdes constituem uma excelente alternativa para reduzir as demandas energéticas dos sistemas de refrigeração e mitigar o calor em edificações. Neste estudo, foi avaliado o índice de sombreamento (IS) de uma fachada verde instalada na face oeste de uma edificação experimental. A espécie utilizada foi a *Wisteria Floribunda* (Glicínia), e o monitoramento foi realizado mensalmente durante o períodode um ano. Além do IS, a temperatura da parede da edificação na face externa também foi monitorada. Como resultado, obtiveram-se IS máximo de 99.71% no verão, e mínimo de 0% no inverno. Por fim, o IS se mostrou efetivo para explicar o papel da vegetação na temperatura da fachada externa, demonstrando o potencial do sombreamento da fachada verde na redução das cargas térmicas de uma edificação.

Palavras-chave: *Wisteria Floribunda* (Glicínia). Fachada verde. Índice de sombreamento.

Shade index of Wisteria Floribunda used in a green facade system

Abstract: Shading and thermal insulation provided by green facades are an excellent alternative to reduce the energy demands of cooling systems and mitigate urban heat. This study evaluated the shading index (SI) of a green wall installed on the west face of an experimental building. The species used was *Wisteria Floribunda*, and monthly monitoring took place for one year. In addition to the SI, the temperature of the building wall on the external face was also monitored. As a result, a maximum SI of 99.71% was obtained in summer, and a minimum of 0% in winter. Finally, the SI proved to be effective in explaining the role of vegetation in the temperature of the external wall, showing the potential of shading from the green wall in reducing the thermal loads of a building.

Key words: Wisteria Floribunda. Green wall. Shading index.

Introdução

A vegetação é uma estratégia de relevância na prática da arquitetura bioclimática, por proporcionar melhoria do conforto térmico e, consequentemente, economia de energia elétrica (MELO; AMORIM; NERY, 2014). Entre as diversas aplicações da vegetação em edificações, os jardins verticais têm ganhado destaque como uma solução sustentável frente à degradação ambiental causada pela urbanização, melhorando não apenas o desempenho das edificações, mas também o do ambiente em seu entorno (Santos; bortoleto, 2019).

Conforme apontam Ambrosini *et al.* (2014) e Santamouris (2014), as envoltórias verdes oferecem benefícios térmicos externos significativos, como a moderação do clima local e a mitigação das ilhas de calor urbanas. Esse efeito é alcançado pelo sombreamento e pelo isolamento térmico proporcionados pela vegetação que, em conjunto com a camada de ar entre a folhagem e a parede, bloqueia a radiação solar direta e, por sua vez, reduz a entrada de calor no interior das edificações (Wong *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2011; Hunter *et al.*, 2014; Wong; Baldwin, 2016). Além disso, esses sistemas contribuem para a melhoria da qualidade do ar, o controle da umidade e a valorização estética do ambiente construído, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e eficiência energética.

Neste contexto, este trabalho buscou analisar os potenciais benefícios térmicos das fachadas verdes a partir da determinação do índice de sombreamento (IS) e da avaliação de uma fachada verde composta pela espécie Wisteria floribunda (Glicínia) ao longo de um ano. Ainda, foi realizada a avaliação da sua influência na temperatura em uma parede externa da edificação.

Material e métodos

O estudo foi elaborado a partir de registros térmicos e fotográficos de uma fachada verde além de informações e registros climatológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O processo de monitoramento foi realizado durante um período de doze meses, o que possibilitou observar todas as fases fenológicas da planta durante as estações do ano, bem como a avaliação do desenvolvimento da vegetação e os respectivos IS.

Local de estudo

O estudo foi realizado a partir da fachada verde instalada na Casa Popular Eficiente (CPE), no campus sede da UFSM, localizada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul). A CPE foi projetada para ser uma construção sustentável, com tecnologias eficientes e econômicas,e possui 55,40 m² de área construída total.

Em 2017, foi instalado um sistema de fachada verde na parede oeste da edificação (Fensterseifer *et al.*, 2019), onde foram plantadas cinco mudas da espécie Wisteria floribunda (Glicínia) com idade de 2 anos em vasos de 50l cada, espaçadas 30cm entre si. O sistema cobre metade da parede, possui 4m de comprimento e 3m de altura, com fixação a 0,40m da parede, criando um corredor de ar (Figura 1). Além disso, para auxiliar na fixação das mudas, foi instalada uma estrutura confeccionada com cordas elásticas em forma de rede.

Figura 1 – Local da fachada verde.



Fonte: Autores.

Monitoramento

O monitoramento se iniciou no dia 1 de agosto de 2021 e estendeu-se até o dia 1 de agosto de 2022. Foram realizadascapturas mensais na

posição ortogonal e frontal à fachada verde no período da tarde, a uma altura de 1m e distância de 4,3m. Para auxiliar no monitoramento, três sensores automáticos de monitoramento térmico foram instalados atrás da fachada verde, dois externos (um deles mede a temperatura do ar) e outro interno. O sensor interno é do tipo DHT22, enquanto os externos são DS18B20, à prova d'água. Esses sensores foram conectados a um Data Logger baseado em Arduino, (MINETTO, 2018; PIMENTEL, 2020; RÊGO 2016), com uma discretização temporal de 5 minutos. Os dados foram armazenados em cartão SD, com realização do download semanalmente.

Tratamento de dados
Determinação do índice de sombreamento (IS)

Inicialmente, as imagens capturadas foram tratadas com o software GIMP 2.10 (GNU Image 28 Manipulation Program), programa cujo objetivo é a criação e edição de imagens tipo raster. As imagens selecionadas foram importadas para o software AutoCAD LT 2019, no qual foi realizado o processo de polinização manual da imagem, com o objetivo de identificar as áreas de sombreamento. O IS é determinado a partir da ponderação da área de folhas com relação à área total da imagem, a partir do cálculo de pixels e conversão do número de pixels para áreas de camada foliar. Na sequência, foi realizada uma compilação das fotografias térmicas, a fim de analisar o sombreamento da fachada verde ao longo dos meses.

Dados de temperatura

Para a análise de dados do desempenho térmico da fachada verde, o ano monitorado foi dividido em duas estações: inverno e verão. Para cada estação, foi selecionado o dia em que apresentou a temperatura máxima, considerado como o dia destaque. Após a seleção, os dados das variações térmicas da temperatura do ar externo, e temperatura da fachada verde interna e externa foram avaliadas e apresentadas para os dias destaques de cada estação, de acordo com a temperatura instantânea monitorada. Este conjunto de dados permitiu observar o comportamento ao longo do dia na fachada verde, bem como analisar o efeito de sombreamento ao longo das duas estações. Vale salientar que os dados de temperatura foram analisados e correlacionados com as informações obtidas através da poligonação.

Foram consideradas duas condições: diferença de temperatura do ar externo (Tar_ex) com relação à temperatura da fachada verde externa (Tfv_ex), para identificar o efeito de sombreamento da fachada verde (Dt1), e diferença de temperatura da fachada verde externa (Tfv_ex) com a temperatura da fachada verde interna (Tfv_in) para identificar o efeito promovido pela própria parede (Dt2). Ambas medidas em graus Celsius (°C).

Equação 1 = Dt1= Tar_ex – Tfv_ex

Equação 2 = Dt2 =Tfv_ex –Tfv_in

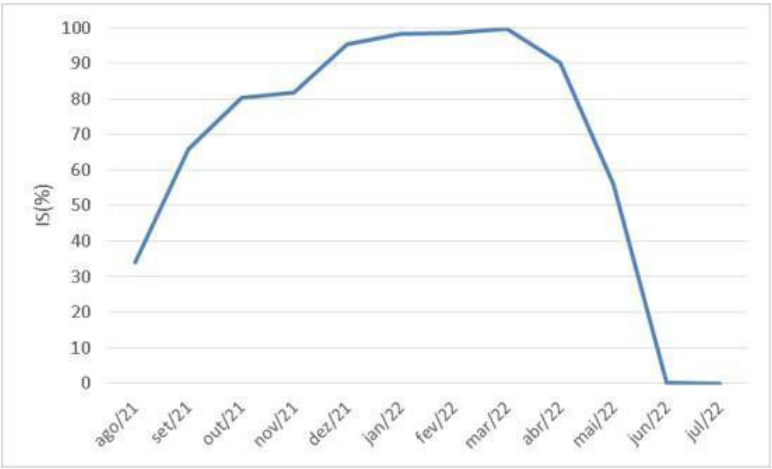
Os resultados destas equações foram apresentadas em gráficos para os dias selecionados de cada estação, com curvas crescentes e decrescentes.

Resultados e discussão

Índice de sombreamento

Ao observar a Figura 2, é possível notar que existe uma significativa variação na cobertura foliar ao longo do ano. O IS da Glicínia variou de 0% no mês de julho de 2022, a 99,71% no mês de março. Nos meses mais quentes, a vegetação atinge seu maior potencial de cobertura, processo no qual ameniza a radiação solar que atingiria a fachada da casa. O IS começa a aumentar no final do inverno, no mês de agosto, uma vez que seu pico ocorre no mês de março. Após este período, ocorre a diminuição do IS devido a perda das folhas, prevalecendo somente os galhos e a estrutura de fixação, o que permite a entrada de radiação solar na casa e, consequentemente, o aumento do conforto térmico no clima frio do predominante na região.

Figura 2 – Índice de sombreamento ao longo dos doze meses.

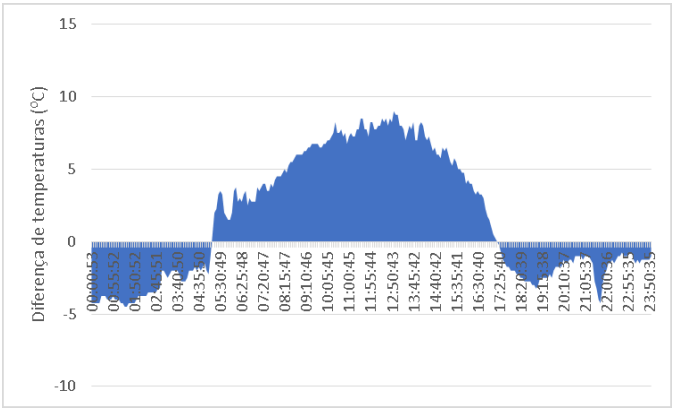


Fonte: Autores.

Análise das temperaturas para os dias representativos

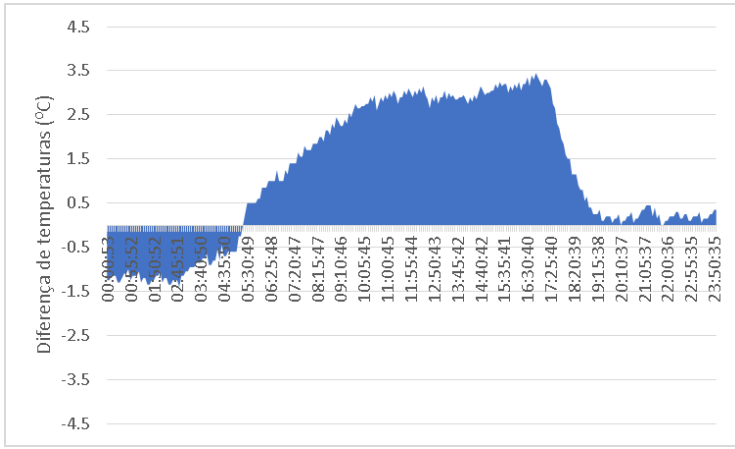
Os resultados obtidos a partir das equações 1 e 2 estão representados nas Figuras 3 a 6, nas quais são apresentadas as variações de temperatura ao longo dos dias destaques,com relação às máximas temperaturas do ar registradas. Cada pico dos gráficos representa a máxima amplitude da diferença de temperatura registrada. Os dias destaques selecionados para inverno e verão foram 19/08/2021 e 02/02/2022, respectivamente.

Figura 3 – Diferenças da temperatura do ar externo e temperatura da fachada verde externa (Dt1) para o dia destaque (19/08/2021) de temperatura máxima no inverno.



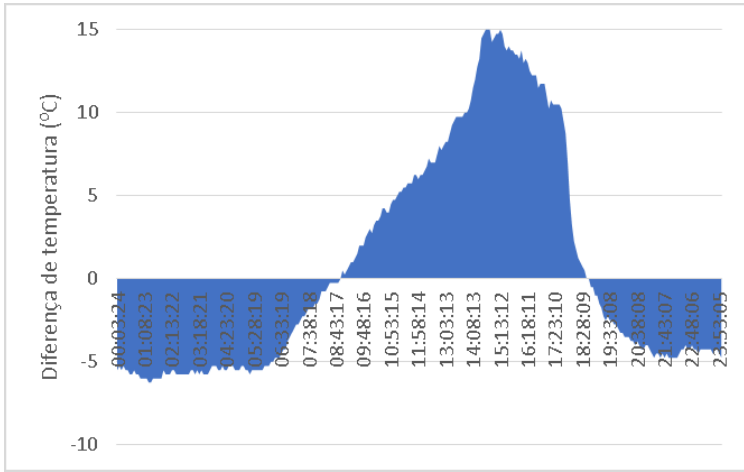
Fonte: Autores.

Figura 4 – Diferença da temperatura da fachada verde externa e temperatura da fachada verde interna (Dt2) para o dia destaque (19/08/2021) de temperatura máxima no inverno.



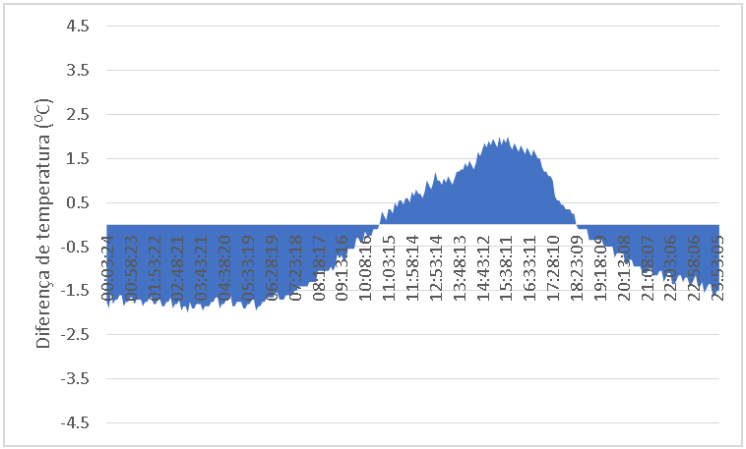
Fonte: Autores.

Figura 5 – Diferenças da temperatura do ar externo e temperatura da fachada verde externa (Dt1) para o dia destaque (02/02/2022) de temperatura máxima no verão.



Fonte: Autores.

Figura 6 – Diferença da temperatura da fachada verde externa e temperatura da fachada verde interna (Dt2) para o dia destaque (02/02/2022) de temperatura máxima no verão.



Fonte: Autores.

Em relação às diferenças da temperatura do ar externo e temperatura da fachada verde externa (Dt1), observou-se uma máxima amplitude de 15°C entre a temperatura do ar (Tar_ex, 45,25°C) e a temperatura da superfície da parede externa (Tfv_ex, 30,25°C). Esse comportamento reflete o maior IS registrado durante o verão. Outro resultado importante é que a máxima temperatura da fachada externa ocorreu no inverno, estação que apresenta menor IS (33,04%). Isso ocorre devido à baixa cobertura foliar da planta, o que aumenta a incidência solar na parede em questão.

Ao analisar os resultados da diferença da temperatura da fachada verde externa e temperatura da fachada verde interna (Dt2), as maiores temperaturas registradas no interior da parede ocorreram no verão, mesmo tendo um IS alto neste período do ano. Isso pode ser explicado pelo fato de que o tijolo solo-cimento não apresentou características de isolamento térmico e possivelmente houve elevado fluxo de calor da parede externa para a interna.

Ainda, a máxima amplitude entre as temperaturas das fachadas interna e externa ocorreu no inverno, com diferença de aproximadamente 3,5 ° C. Nesse caso, a temperatura externa da parede foi superior à interna da edificação, mostrando que a perda das folhas da Glicínia contribuiu para o aquecimento da superfície da parede externa.

As amplitudes das diferenças de temperatura em Dt2 foram menores do que as registradas em Dt1. Com valores de aproximadamente 3.5ºC no inverno e 15ºC no verão, respectivamente.

Conclusão

Por meio do monitoramento das temperaturas, o estudo evidenciou o impacto do sombreamento proporcionado pela Wisteria Floribunda em um sistema de fachada verde no desempenho térmico de uma edificação. Durante os meses mais quentes no verão, a fachada verde alcançou seu maior potencial de sombreamento, contribuindo para o atraso térmico nas temperaturas da parede e reduzindo em até 15ºC a temperatura da superfície externa. Entretanto, não foi possível estabelecer uma correlação direta entre o IS e a amplitude de temperatura entre as superfícies interna e externa da parede. Apesar disso, o IS demonstrou ser um indicador eficaz para a avaliação do comportamento do sombreamento proporcionado pela vegetação da fachada. Os resultados reforçam a importância das fachadas verdes como estratégia para melhorar o desempenho térmico das edificações. A capacidade de redução significativa da temperatura externa e o atraso térmico observado demonstram o potencial dessas soluções na mitigação do desconforto térmico em meios urbanos. Estudos adicionais poderão explorar não apenas a influência do sombreamento, mas também a interação com outros fatores.

Referências

REIS, A**. Índice de sombreamento da Wisteria Floribunda usada em um sistema de fachada verde.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

LÖBLER, C. A.; SCCOTI, A. A. V.; WERLANG, M. K. Contribuição à delimitação dos biomas Pampa e Mata Atlântica no município de Santa Maria, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,** Santa Maria, **v. 19, n. 2**, p. 1250-1257, 2015.

FENSTERSEIFER, P. *et al.* Potencial de redução de temperatura na superfície externa de moradias usando fachadas verdes. In: **SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 5.**, Porto Alegre. *Anais [...].* Porto Alegre: Editora GFM, **v. 1**, p. 585-590, 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF. Disponível em: http://inmet.gov.br. Acesso em: 16 jan. de 2025.

ONGARATTO, D. R. L. *et al.* Estratégias bioclimáticas para a cidade de Santa Maria RS. In: **10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE**, Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento. *Anais [...].* Santana do Livramento, 2018.

MINETTO, B. **Desenvolvimento de sensores de baixo custo para monitoramento hidrológico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

MONTANARI, K. B.; LABAKI, L. C. Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes. *PARC* **Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 181-193, 2017.

PÉREZ, G. *et al.* Green Facade for Energy Savings in Buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, Lleida, v. 187, p. 424–437, fev. 2017.

SANTOS, L. T. dos; BORTOLETO, E. L. Jardins verticais e o desempenho ambiental nas edificações: revisão bibliográfica. **Parc Research in Architecture and Construction**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 62-72, 2019.

MELO, M. T.; AMORIM, M. C. C. T.; NERY, V. P. A vegetação como estratégia de conforto térmico em arquitetura bioclimática. **Parc Research in Architecture and Construction**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 95-107, 2014.

Redução do grau de inchamento de um filme biopolimérico à base de ágar a partir da adição de nanocelulose como reforço

Júlia Daneluz[1], Wendel Paulo Silvestre[2], Camila Baldasso[3]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (jdaneluz@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (wpsilvestre@ucs.br)*
[3] *Universidade de Caxias do Sul (cbaldasso@ucs.br)*

Resumo: Os biopolímeros surgem como alternativa para minimizar os impactos da disposição final incorreta de produtos poliméricos no planeta. Um exemplo de biopolímero é o ágar, um polissacarídeo com capacidade de formação de filmes poliméricos. No entanto, algumas de suas propriedades, como o grau de inchamento, precisam ser melhoradas para que estes filmes possam ser utilizados em larga escala. O grau de inchamento é uma propriedade que relaciona a interação entre o polímero e um solvente, usualmente água. Para utilização industrial de um filme polimérico, é importante que o mesmo tenha uma resistência adequada à água. Para melhorar as propriedades de um polímero, uma alternativa é combiná-lo com outros materiais. A nanocelulose é um polissacarídeo derivado da celulose que possui diversas propriedades vantajosas, como baixa massa molar, atoxicidade e biodegradabilidade. O objetivo do estudo foi desenvolver filmes poliméricos à base de ágar e incorporar nanofibras de celulose como carga de reforço para reduzir o grau de inchamento do material. Para isso, os filmes poliméricos foram produzidos por *casting* com diferentes concentrações de nanocelulose (zero, 0,5 %, 2,0 % e 4,0 % m/m) e caracterizados em relação ao grau de inchamento. O grau de inchamento dos filmes reduziu com a adição de nanocelulose, sendo o menor valor com 2,0 % (m/m). Os resultados mostraram que a incorporação de nanofibras de celulose como carga de reforço em filmes de ágar melhorou a propriedade de inchamento do polímero, possibilitando sua utilização industrial como um material sustentável e vegano.

Palavras-chave: Biopolímero. Nanopartículas. Nanotecnologia.

Reduction of the swelling degree of a biopolymeric agar-based film by the addition of nanocellulose as reinforcement

Abstract: Biopolymers are emerging as an alternative to minimize the impacts of incorrect final disposal of polymeric products on the planet. An example of a biopolymer is agar, a polysaccharide capable of forming polymeric films. However, some of its properties, such as the degree of swelling, need to be improved so that these films can be used on a large scale. The degree of swelling

is a property that relates to the interaction between the polymer and a solvent, usually water. For industrial use of a polymeric film, it is important that it has adequate resistance to water. To improve the properties of a polymer, one alternative is to combine it with other materials. Nanocellulose is a polysaccharide derived from cellulose that has several advantageous properties, such as low molar mass, non-toxicity and biodegradability. The objective of the study was to develop agar-based polymeric films and incorporate cellulose nanofibers as reinforcing filler to reduce the degree of swelling of the material. For this purpose, polymer films were produced by casting with different concentrations of nanocellulose (zero, 0.5%, 2.0% and 4.0% w/w) and characterized in relation to the degree of swelling. The degree of swelling of the films reduced with the addition of nanocellulose, being the lowest value with 2.0% (w/w). The results showed that the incorporation of cellulose nanofibers as reinforcing filler in agar films improved the swelling property of the polymer, enabling its industrial use as a sustainable and vegan material.

Key words: Biopolymer. Nanoparticles. Nanotechnology.

Introdução

As preocupações com os recursos naturais e a conscientização ambiental impulsionam o desenvolvimento de materiais baseados em matérias-primas e processos naturais, renováveis e biodegradáveis (Wang *et al.*, 2015). Nesse contexto, os biopolímeros vêm se destacando no ramo e materiais (Sani *et al.*, 2021). A aplicação de filmes poliméricos é majoritariamente em embalagens, com o objetivo de agir como uma barreira contra agentes externos. Os filmes poliméricos são muito utilizados em embalagens alimentícias, minimizando danos mecânicos e podendo fornecer uma barreira eficaz à permeação de gases, umidade e aromas (Rocha *et al.*, 2018).

Alguns dos principais biopolímeros são polissacarídeos, proteínas, poliésteres e ácidos. O ágar é um polissacarídeo gelatinoso extraído de algas vermelhas marinhas (Mohajer *et al.*, 2017), com propriedades gelificantes e espessantes (Yang *et al.*, 2022). É um composto polar, com pH neutro e de natureza hidrofílica (Jumaidin *et al.*, 2016). O ágar tem sido utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, microbiológica, médica, biomédica, eletroquímica e de embalagens (Liew *et al.*, 2019).

Embora o ágar possua propriedades interessantes e seja promissor para a produção de filmes, ele apresenta algumas limitações. Sua forte hidrofilicidade faz com que esse polímero seja sensível à umidade, o que resulta em uma baixa resistência mecânica. A fragilidade do ágar é atribuída a fortes interações entre as cadeias de ágar-ágar. O ágar também possui limitações com relação às propriedades térmicas. Para

melhorar essas propriedades, ele pode ser misturado com outros polímeros (Lemus *et al.*, 2021).

A escala nanométrica apresenta uma característica distintiva fundamental, que é a amplificação das propriedades físicas e químicas de um material. Isso ocorre devido à presença de uma grande área superficial e uma dispersão mais acentuada (Reddy & Rhim, 2014). A nanocelulose é um material com alta resistência e rigidez, elevado módulo de elasticidade, baixa densidade, grande área superficial, atoxicidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade. Pode ser obtida a partir de recursos naturais renováveis, baratos e abundantes, como madeira, plantas, vegetais e outros subprodutos agrícolas (Leite *et al.*, 2020; Reddy & Rhim, 2014). A nanocelulose tem sido amplamente utilizada como agente de reforço para várias aplicações comerciais (Zhai *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, o presente trabalho visa o desenvolvimento de filmes poliméricos formulados a partir de ágar, incorporando nanofibras de celulose como carga de reforço para melhoria na propriedade de inchamento do polímero. Esse parâmetro visa analisar a afinidade do material com um solvente, normalmente água. Os filmes desenvolvidos são materiais sustentáveis e veganos.

Em todos os projetos desenvolvidos, é importante que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) sejam observados a fim de contribuir com ideais tão relevantes. Os ODS representam um chamado global para a ação, visando proteger o clima e o meio ambiente e promover condições equilibradas para todas as pessoas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável envolvidos no projeto são: educação de qualidade (nº 4); emprego digno e crescimento econômico (nº 8); indústria, inovação e infraestrutura (nº 9); cidades e comunidades sustentáveis (nº 11); consumo e produção responsáveis (nº 12); vida debaixo d'água (nº 14); vida sobre a terra (nº 15); e parcerias em prol das metas (nº 17).

Material e Métodos

Material

Para o desenvolvimento dos filmes poliméricos, foram utilizados os seguintes materiais: ágar comercial (Agargel, lote 221207STD1, Brasil); glicerol P.A. (Vetec, lote 1102779, Brasil); nanofibras de

celulose obtidas previamente a partir da desfibrilação mecânica de celulose branqueada proveniente de eucalipto (Companhia de Celulose Riograndense, Brasil); e água destilada.

Produção dos filmes poliméricos

A produção dos filmes foi realizada pela técnica de casting. Ágar, glicerol e nanocelulose foram pesados em balança analítica (Ohaus, modelo AS200, Estados Unidos) e transferidos para um béquer contendo 100 mL de água destilada. As proporções utilizadas foram 2 % m/m de ágar em relação à massa de água, 50 % m/m de glicerol (plastificante) em relação à massa de ágar. As concentrações de nanocelulose adicionadas foram de zero, 0,5 %, 2,0 % e 4,0 % m/m em relação à massa de ágar.

As misturas foram mantidas em temperatura entre 80 – 85 °C (controle por termômetro Incoterm, Brasil) em chapa de aquecimento com agitação magnética (Velp Scientífica, modelo ARE, Itália) por 10 min. As soluções filmogênicas foram espalhadas em placas quadradas de vidro revestidas com teflon. As placas foram mantidas em repouso por 48 h para a secagem dos filmes. Após a formação dos filmes, os mesmos foram retirados das placas.

Determinação do grau de inchamento dos filmes poliméricos

Os corpos de prova foram secos em estufa (DeLeo, modelo A6SEDT, Brasil) a 105 °C por 24 h e, em seguida, suas massas foram determinadas em balança analítica (Ohaus, modelo AS200, Estados Unidos). As amostras foram mantidas imersas em 50 mL de água destilada por 24 h e, em seguida, suas massas foram novamente determinadas. O grau de inchamento (GI) foi determinado pela Equação 1, sendo m_1 a massa do material inchado com água (g) e m_0 a massa do material seco (g) (Pereira *et al.*, 2022).

$$GI\ (\%) = 100 \times \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (1)$$

Resultados e discussão

A adição de nanocelulose em diferentes concentrações alterou os resultados do grau de inchamento dos filmes. Na Tabela 1 constam os resultados do grau de inchamento dos filmes poliméricos em função das concentrações de nanocelulose, e na Figura 1 consta o gráfico do

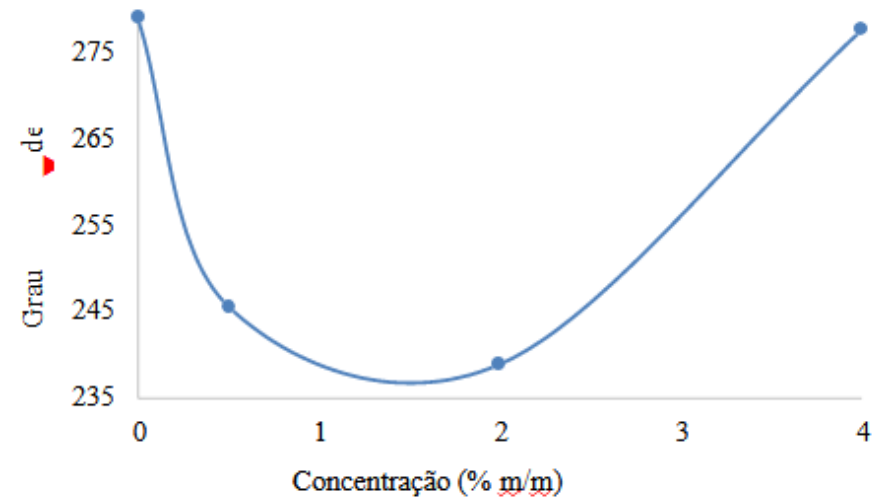
comportamento do grau de inchamento dos filmes em função das concentrações de nanocarga.

Tabela 1 – Resultados do grau de inchamento dos filmes poliméricos em função da concentração de nanocelulose.

Concentração (% m/m)	Grau de inchamento (%)
Zero	279,20±20,59
0,5	245,70±16,57
2,0	238,99±3,29
4,0	277,86±6,16

Fonte: autores (2025).

Figura 1 – Comportamento do grau de inchamento dos filmes poliméricos em função da concentração de nanocelulose.



Fonte: autores (2025).

A adição de nanocelulose reduziu o grau de inchamento dos filmes, sendo que até a concentração de 2,0 % (m/m) o parâmetro reduziu com o aumento da concentração. Com 0,5 % (m/m) de nanocelulose, houve uma redução de 12,00 % do inchamento. A concentração de 2,0 % (m/m) foi a que mais contribuiu na redução do inchamento do material, reduzindo 14,40 %. Já a nanocelulose em 4,0 % (m/m) reduziu apenas 0,48 %.

O grau de inchamento determina o teor de água que o material é capaz de absorver, mostrando a interação entre a amostra e o solvente. É um parâmetro importante na compreensão das propriedades físicas e químicas, como hidratação e interações entre componentes. O inchamento ocorre devido à afinidade entre o polímero e o solvente (água). A água penetra nas cadeias poliméricas, afastando seus segmentos e promovendo a expansão do material (Roy *et al.*, 2021).

Um alto grau de inchamento significa que o polímero pode absorver grandes quantidades de líquido, expandindo-se de forma importante. Isso é útil em aplicações de hidrogéis biomédicos, fraldas descartáveis, produtos absorventes e lentes de contato, por exemplo. No entanto, o excesso de inchamento pode enfraquecer o material, tornando-o menos resistente mecanicamente e podendo causar deformação ou perda de funcionalidade (Roy *et al.*, 2021).

Um baixo grau de inchamento pode significar boa resistência ao fluido testado. Para aplicações industriais, principalmente revestimentos e embalagens, o ideal é que o material polimérico apresente o menor grau de inchamento possível, evitando assim a interação entre o polímero e os agentes externos, como a água (Roy *et al.*, 2021).

A propriedade de inchamento depende das características do polímero, como grau de cristalinidade, comprimento e distribuição das cadeias poliméricas, natureza química, quantidade e natureza de aditivos como cargas de reforço ou plastificantes. O ágar e a nanocelulose são materiais hidrofílicos e polares, possuindo grande afinidade com água e interagindo com o solvente por meio de fortes ligações de hidrogênio. Em filmes de ágar, a interação com a nanocelulose ocorre através de ligações de hidrogênio. A dispersão dessa nanocarga na matriz polimérica é boa devido à sua natureza polar, como a do ágar (Shankar & Rhim, 2016).

Devido à grande área superficial da nanocelulose, grupos de hidroxila livres ficam disponíveis para interagir com a matriz polimérica e formar ligações de hidrogênio. As interações entre o ágar e a nanocelulose podem bloquear as interações entre os componentes e a água, reduzindo o grau de inchamento (Wang *et al.*, 2017), corroborando com os resultados obtidos com a adição de 0,5 e 2,0 % (m/m) de nanocelulose. No entanto, elevadas quantidades de nanocarga podem reduzir a interação entre a nanocarga e a matriz polimérica devido à distribuição não uniforme no filme e, consequentemente, podem reduzir a resistência

do material (Shankar & Rhim, 2016), como foi observado no presente estudo ao adicionar 4,0 % (m/m) de nanocelulose como reforço.

Roy e colaboradores (2021) desenvolveram filmes base de ágar com microcelulose e testaram a incorporação de 5 % (m/m) de celulose nanocristalina, e observaram que o grau de inchamento dos filmes não foi afetado pela adição de nanocelulose, ao contrário do que foi encontrado nos testes do presente estudo. Roy e Rhim (2021) prepararam filmes à base de ágar e gelatina com incorporação de óleo essencial de cravo e celulose nanocristalina. A adição da nanocelulose reduziu o grau de inchamento do filme com o aumento da concentração, provavelmente devido ao aumento das interações intermoleculares entre os componentes, validando os resultados obtidos no presente trabalho.

Conclusão

O grau de inchamento dos filmes de ágar reduziu com a adição de nanocelulose, sendo que a maior redução observada foi de 14,40 % com reforço de 2,0 % (m/m). Os resultados sugerem que, no geral, os filmes biopoliméricos de ágar com nanocelulose apresentaram melhores propriedades de resistência à água do que o filme de ágar puro, devido à forte interação entre os componentes. Desse modo, os filmes poliméricos desenvolvidos possuem potencial de aplicação tecnológica, com ênfase para a indústria de embalagens do ramo alimentício, por exigirem uma resistência elevada a agentes externos como a água. Ainda, os materiais desenvolvidos contribuem com a sustentabilidade. Testes complementares podem ser realizados para verificar outras propriedades dos filmes, como as propriedades térmicas, mecânicas, de barreira e antimicrobianas.

Referências

JUMAIDIN, R.; SAPUAN, S. M.; JAWAID, M.; ISHAK, M. R.; SAHARI, J. Characteristics of thermoplastic sugar palm Starch/Agar blend: Thermal, tensile, and physical properties. International Journal of Biological Macromolecules, v. 89, 2016, p. 575-581.

LEITE, L. S. F.; BILATTO, S.; PASCHOALIN, R. T.; SOARES, A. C.; MOREIRA, F. K. V.;

OLIVEIRA JR, O. N.; MATTOSO, L. H. C.; BRAS, J. Eco-friendly gelatin films with rosin-grafted cellulose nanocrystals for antimicrobial packaging. International Journal of **Biological Macromolecules**, v. 165, 2020, p. 2974-2983.

LEMUS, L. M, R.; AZAMAR-BARRIOS, J. A.; ORTIZ-VAZQUEZ, E.; QUINTANA-OWEN, P.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; PERERA, F. G.; MADERA-SANTANA, T. J. Development and physical characterization of novel bio-nanocomposite films based on reduced graphene oxide, agar and melipona honey. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, 2021, p. 100133-100142.

LIEW, S. Y.; JUAN, J. C.; LAI, C. W.; PAN, G. T.; YANG, T. C. K.; LEE, T. K. An eco-friendly water-soluble graphene-incorporated agar gel electrolyte for magnesium-air batteries. **Ionics**, v. 25, 2019, p. 1291-1301.

MOHAJER, S.; REZAEI, M.; HOSSEINI, S. F. Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, 2017, p. 784-793.

PEREIRA, N. R. L.; LOPES, B.; FAGUNDES, I. V.; MORAES, F. M.; MORISSO, F. D. P.; PARMA, G. O. C.; ZEPON, K. M.; MAGNAGO, R. F. Bio-packaging based on cellulose acetate from banana pseudostem and containing *Butia catarinensis* extracts. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 194, 2022, p. 32-42.

REDDY, J. P.; RHIM, J. W. Characterization of bionanocomposite films prepared with agar and paper-mulberry pulp nanocellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, 2014, p. 480-488.

ROCHA, M. ALEMÁN, A.; ROMANI, V. P.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P.; PRENTICE, C. Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life. **Food Hydrocolloids**, v. 81, 2018, p. 351-363.

ROY, S.; KIM, H. J.; RHIM, J. W. Synthesis of Carboxymethyl Cellulose and Agar-Based Multifunctional Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals and Shikonin. **Applied Polymer Materials**, v. 3, 2021, p. 1060-1069.

ROY, S; RHIM, J. W. Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 627, 2021, p. 127220-127231.

SANI, M. A.; TAVASSOLI, M.; HAMISHEHKAR, H.; MCCLEMENTS, D. J. Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, 2021, p. 117488-117497.

SHANKAR, S.; RHIM, J. W. Preparation of nanocellulose from micro-crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar-based composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 135, 2016, p. 18-26.

WANG, L. F.; SHANKAR, S.; RHIN, J. W. Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. **Food Hydrocolloids**, v. 63, 2017, p. 201-208.

WANG, Q.; TIAN, F.; FENG, Z.; FAN. X.; PAN, Z.; ZHOU, J. Antioxidant activity and physicochemical properties of chitosan films incorporated with *Lycium*

barbarum fruit extract for active food packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, 2015, p. 458-464.

YANG, R.; FU, Y.; SUN, D.; MA, J. Temperature sensing properties of a Fabry-Perot fiber probe based on agar film. **Materials Letters**, v. 321, 2022, p. 132401-132405.

ZHAI, X.; GAO, S.; XIANG, Y.; WANG, A.; LI, Z.; CUI, B.; WANG, W. Cationized high amylose maize starch films reinforced with borax cross-linked nanocellulose. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, 2021, p. 1421-1429.

Efeito da adição de nanocelulose na solubilidade em água de um biopolímero à base de ágar

Júlia Daneluz[1], Wendel Paulo Silvestre[2], Camila Baldasso[3]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (jdaneluz@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (wpsilvestre@ucs.br)*
[3] *Universidade de Caxias do Sul (cbaldasso@ucs.br)*

Resumo: O ágar é um polissacarídeo que se destaca por sua capacidade de formar filmes poliméricos biodegradáveis. Uma propriedade importante de um filme é a solubilidade em água, pois é fundamental que os materiais sejam resistentes à água para aplicações industriais. Uma estratégia para o desenvolvimento de novos materiais é combinar o polímero com outros compostos, como nanopartículas. A nanocelulose é um polissacarídeo atóxico e biodegradável, amplamente utilizada na produção de materiais biodegradáveis. O objetivo deste estudo foi elaborar biopolímeros à base de ágar reforçados com nanofibras de celulose, verificando o efeito das nanopartículas na solubilidade do material base. Os filmes foram fabricados pelo método de *casting*, utilizando diferentes concentrações de nanocelulose (zero, 0,5 %, 2,0 % e 4,0 % m/m), e testados quanto à solubilidade em água. Os resultados indicaram que a adição de nanocelulose não influenciou significativamente na solubilidade em água dos filmes. Esses resultados demonstram que a incorporação de nanocelulose como reforço no ágar é positiva por manter uma propriedade física importante. O filme desenvolvido é adequado para uso industrial como biopolímero e contribui para um menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Polímero. Nanopartículas. Nanocargas.

Effect of nanocellulose addition on the water solubility of an agar-based biopolymer

Abstract: Agar is a polysaccharide that stands out for its ability to form biodegradable polymeric films. An important property of a film is water solubility, since it is essential that the materials are water resistant for industrial applications. One strategy for the development of new materials is to combine the polymer with other compounds, such as nanoparticles. Nanocellulose is a non-toxic and biodegradable polysaccharide, widely used in the production of biodegradable materials. The objective of this study was to develop agar-based biopolymers reinforced with cellulose nanofibers, verifying the effect of nanoparticles on the solubility of the base material. The films were manufactured by the casting method, using different concentrations of nanocellulose (zero, 0.5%, 2.0% and 4.0% w/w), and tested for water solubility. The results indicated that the addition of nanocellulose did not significantly influence the

water solubility of the films. These results demonstrate that the incorporation of nanocellulose as reinforcement in agar is positive because it maintains an important physical property. The developed film is suitable for industrial use as a biopolymer and contributes to a lower environmental impact.

Key words: Polymer. Nanoparticles. Nanofillers.

Introdução

A crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e o aumento da conscientização ambiental têm impulsionado a criação de materiais baseados em recursos naturais, renováveis e biodegradáveis (Wang *et al.*, 2015). Nesse cenário, os biopolímeros vêm se destacando como alternativas promissoras (Sani *et al.*, 2021). Filmes poliméricos são amplamente utilizados em embalagens para oferecer barreiras eficazes contra agentes externos (Rocha *et al.*, 2018). Dentre os polímeros naturais, destaca-se o ágar, um polissacarídeo extraído de algas vermelhas marinhas (Mohajer *et al.*, 2017). O ágar apresenta baixo custo, características reológicas vantajosas e elevada biocompatibilidade (Madera-Santana *et al.*, 2014). É um polímero hidrofílico e apresenta pH neutro (Freile-Pelegrín *et al.*, 2007).

Apesar do potencial do ágar na produção de filmes biodegradáveis, ele possui limitações como sensibilidade à umidade, o que compromete também sua resistência mecânica. Para superar esses desafios, o ágar pode ser combinado com outros polímeros (Lemus *et al.*, 2021). A nanocelulose destaca-se como um material versátil devido à amplificação de propriedades físicas e químicas em escala nanométrica, como maior área superficial e dispersibilidade (Reddy & Rhim, 2014). Obtida de recursos naturais renováveis, como madeira, plantas e subprodutos agrícolas, a nanocelulose é reconhecida por sua alta resistência, rigidez, baixa densidade, atoxicidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade (Leite *et al.*, 2020; Reddy & Rhim, 2014). Essas características tornam a nanocelulose um reforço ideal para diversas aplicações (Zhai *et al.*, 2021).

Neste contexto, este trabalho buscou desenvolver filmes poliméricos à base de ágar, utilizando glicerol como plastificante e incorporando nanofibras de celulose como agente de reforço. O objetivo principal foi aprimorar as propriedades de barreira, com ênfase na solubilidade, fator que reflete sua afinidade com solventes, geralmente água. Os filmes resultantes visam ser materiais sustentáveis e veganos. A proposta alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), con-

templando educação de qualidade (nº 4), trabalho digno e crescimento econômico (nº 8), indústria e inovação (nº 9), cidades sustentáveis (nº 11), consumo responsável (nº 12), preservação da vida aquática (nº 14) e terrestre (nº 15), além de promover parcerias globais para alcançar essas metas (nº 17).

Material e Métodos

Material

Para a produção dos filmes poliméricos, foram empregados os seguintes materiais: ágar comercial (Agargel, lote 221207STD1, Brasil); glicerol P.A. (Vetec, lote 1102779, Brasil); nanofibras de celulose obtidas previamente a partir da desfibrilação mecânica de celulose branqueada proveniente de eucalipto (Companhia de Celulose Riograndense, Brasil); e água destilada.

Produção dos filmes poliméricos

A produção dos filmes foi realizada pelo método de casting. Ágar, glicerol e nanofibras de celulose foram pesados em uma balança analítica (Ohaus, modelo AS200, Estados Unidos) e misturados em um béquer com 100 mL de água destilada. As proporções empregadas foram: 2 % de ágar (% m/m de água), 50 % de glicerol como plastificante (% m/m de ágar), e nanocelulose em concentrações de zero, 0,5 %, 2,0 % e 4,0 % (% m/m de ágar).

As misturas foram aquecidas entre 80 – 85 °C em uma chapa de aquecimento com agitação magnética (Velp Scientifica, modelo ARE, Itália) por 10 min., monitoradas com termômetro (Incoterm, Brasil). As soluções filmogênicas obtidas foram espalhadas sobre placas quadradas de vidro revestidas com teflon. As placas foram deixadas em repouso por 48 h para que os filmes secassem completamente. Após a secagem, os filmes foram removidos das placas.

Determinação da solubilidade em água dos filmes poliméricos

O teste foi realizado em triplicata, com 3 amostras para cada concentração de nanocelulose adicionada. As amostras foram secas em estufa (DeLeo, modelo A6SEDT, Brasil) a 105 °C por 24 h e suas massas foram determinadas em balança analítica (Ohaus, modelo AS200, Estados Unidos). As amostras foram imersas em um recipiente

contendo 50 mL de água destilada por 24 h. Após, foram secas em estufa a 105 °C por 24 h e suas massas foram novamente determinadas. A solubilidade (%) foi calculada de acordo com a Equação 1, sendo mi a massa inicial da amostra seca (g) e mf a massa final da amostra seca (g) (Mohajer *et al.*, 2017).

$$Solubilidade\ (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} . 100 \quad (1)$$

A análise estatística dos resultados foi executada com auxílio do software AgroEstat®. Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pela comparação múltipla de médias de Tukey ao nível de significância de 5 % ($\alpha = 0,05$).

Resultados e discussão

A incorporação de nanofibras de celulose em diferentes concentrações não influenciou significativamente os resultados da solubilidade em água dos filmes poliméricos. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para a solubilidade em função da concentração de nanocelulose utilizada.

Tabela 1 – Resultados de solubilidade em água dos filmes poliméricos em função da concentração de nanocelulose.

Concentração (% m/m)	Solubilidade (%)
Zero	23,93±0,57 A
	0,52	3,48±0,20 A
	2,02	3,11±0,12 A
	4,02	2,78±1,03 A

Solubilidade = média±desvio padrão.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Fonte: autores (2025).

A incorporação de nanofibras de celulose reduziu a solubilidade em água dos filmes poliméricos de ágar. Quanto maior a concentração de nanocelulose, maior foi a redução. Mas essa redução estatisticamente não foi significativa. Os resultados obtidos mostram que a nanocelulose tem potencial de ser incorporada em filmes biopoliméricos de ágar sem prejudicar uma propriedade física importante.

A nanocelulose, quando dispersa adequadamente na matriz polimérica do filme, pode melhorar as propriedades mecânicas, térmicas

e de barreira contra gases (Reddy & Rhim, 2014). Considerando que a nanocelulose aprimora várias propriedades de um filme, o fato de essa nanocarga não afetar a solubilidade em água é uma vantagem, pois mantém uma característica positiva do material.

A solubilidade em água de um material polimérico refere-se à capacidade desse polímero de se dissolver completamente na água, e ocorre devido à interação entre os componentes. É um fenômeno físico, onde o soluto é dissolvido pelo solvente. Uma elevada solubilidade de um material pode indicar que este se deteriora facilmente quando em contato com um determinado solvente. Por isso, uma solubilidade elevada compromete a integridade do biomaterial, tornando-o mais frágil. Uma solubilidade mais baixa indica uma melhor resistência ao solvente, no caso água. Para diversas aplicações, é desejável que o biopolímero apresente uma baixa solubilidade, para minimizar a interação entre o material e fontes externas (Roy *et al.*, 2021).

A solubilidade de um polímero está diretamente relacionada a suas características e estrutura química e molecular. Tanto o ágar quanto a nanocelulose são materiais hidrofílicos e polares, interagindo com a água através de ligações de hidrogênio, o que lhes confere alta afinidade com o solvente e elevada solubilidade no mesmo. A interação ente o ágar e a nanocelulose também ocorre principalmente por ligações de hidrogênio, sendo que a boa dispersão da carga de reforço na matriz polimérica é favorecida pela semelhança entre suas propriedades. Essas interações podem reduzir as ligações entre os componentes do filme e a água, contribuindo para a diminuição da interação. No entanto, a incorporação de nanocelulose também pode ocasionar um aumento da permeabilidade ao vapor d'água e na solubilidade em água devido à natureza hidrofílica das moléculas (Wang *et al.*, 2017). No presente estudo, os filmes mantiveram as suas propriedades de solubilidade inalteradas independentemente da adição da nanocarga.

Reddy e Rhim (2014) desenvolveram filmes à base de ágar com incorporação de nanocristais de celulose. A solubilidade em água do filme base foi de 28,6 %, e a redução do parâmetro não foi significativo, assim como no presente estudo. Com concentrações de nanocelulose até 3 % (m/m) a solubilidade reduziu com o aumento da concentração, chegando à 25,7 %, e com 5 % (m/m) apresentou uma redução, atingindo 27,7 %. Roy e colaboradores (2021) desenvolveram filmes a base de ágar com microcelulose e testaram a incorporação de 5 % m/m de

celulose nanocristalina. A solubilidade em água do filme sem aditivo foi de 78,4 %, devido à alta hidrofilicidade dos componentes. Com a adição de nanocelulose, a solubilidade em água reduziu significativamente, ao contrário do observado no presente estudo. Roy e Rhim (2021) prepararam filmes à base de ágar e gelatina com incorporação de óleo essencial de cravo e celulose nanocristalina. A solubilidade em água do filme base gelatina/ágar foi de 51,2 %, indicando que o filme é altamente solúvel em água, devido à hidrofilicidade dos componentes. A adição das cargas de reforço melhorou significativamente as propriedades de resistência à água, reduzindo a solubilidade dos filmes com o aumento da concentração adicionada, chegando à 41,3 %.

Conclusão

Observou-se que a adição de nanocelulose não apresentou influência significativa na solubilidade em água dos filmes de ágar, indicando que os filmes contendo nanocelulose mantiveram uma propriedade física importante do material. Desde que a adição da nanocarga aprimore outros parâmetros do filme, sua incorporação é positiva por não prejudicar a propriedade testada. Os materiais poliméricos elaborados demonstram um elevado potencial para aplicações tecnológicas, aliando funcionalidade e sustentabilidade.

Referências

FREILE-PELEGRÍN,Y.;MADERA-SANTANA,T.;ROBLEDO,D.; VELEVA,L.; QUINTANA, P.; AZAMAR, J. A. Degradation of agar films in a humid tropical climate: Thermal, mechanical, morphological and structural changes. **Polymer Degradation and Stability**, v. 92, 2007, p. 244-252.

LEITE, L. S. F.; BILATTO, S.; PASCHOALIN, R. T.; SOARES, A. C.; MOREIRA, F. K. V.; OLIVEIRA JR, O. N.; MATTOSO, L. H. C.; BRAS, J. Eco-friendly gelatin films with rosin-grafted cellulose nanocrystals for antimicrobial packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, 2020, p. 2974-2983.

LEMUS, L. M, R.; AZAMAR-BARRIOS, J. A.; ORTIZ-VAZQUEZ, E.; QUINTANA-OWEN, P.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; PERERA, F. G.; MADERA-SANTANA, T. J. Development and physical characterization of novel bio-nanocomposite films based on reduced graphene oxide, agar and melipona honey. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, 2021, p. 100133-100142.

MADERA-SANTANA, T. J.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; AZAMAR-BARRIOS, J. A. Physicochemical and morphological properties of plasticized poly(vinyl alcohol)–agar biodegradable films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 69, 2014, p. 176-184.

MOHAJER, S.; REZAEI, M.; HOSSEINI, S. F. Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, 2017, p. 784-793.

REDDY, J. P.; RHIM, J. W. Characterization of bionanocomposite films prepared with agar and paper-mulberry pulp nanocellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, 2014, p. 480-488.

ROCHA, M. ALEMÁN, A.; ROMANI, V. P.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P.; PRENTICE, C. Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (Paralichthys orbignyanus) fillets shelf-life. **Food Hydrocolloids**, v. 81, 2018, p. 351-363.

ROY, S.; KIM, H. J.; RHIM, J. W. Synthesis of Carboxymethyl Cellulose and Agar-Based Multifunctional Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals and Shikonin. **Applied Polymer Materials**, v. 3, 2021, p. 1060-1069.

ROY, S; RHIM, J. W. Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 627, 2021, p. 127220-127231.

SANI, M. A.; TAVASSOLI, M.; HAMISHEHKAR, H.; MCCLEMENTS, D. J. Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, 2021, p. 117488-117497.

WANG, L. F.; SHANKAR, S.; RHIN, J. W. Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. **Food Hydrocolloids**, v. 63, 2017, p. 201-208.

WANG, Q.; TIAN, F.; FENG, Z.; FAN. X.; PAN, Z.; ZHOU, J. Antioxidant activity and physicochemical properties of chitosan films incorporated with Lycium barbarum fruit extract for active food packaging. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, 2015, p. 458-464.

ZHAI, X.; GAO, S.; XIANG, Y.; WANG, A.; LI, Z.; CUI, B.; WANG, W. Cationized high amylose maize starch films reinforced with borax cross-linked nanocellulose. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, 2021, p. 1421-1429.

Curricularização da Extensão Universitária: Impacto do Programa de Sustentabilidade da Itaipu Parquetec nos ODS no Paraná e Sul do Mato Grosso do Sul

Karina Zavilenski Custódio[1], Ana Paula Credendio[2], Ana Paula Trevisan[3], Alysson Guilherme de Lima Guimaraes[4] e Adilson Francelino Alves[5]
[1] Instituição /Itaipu Parquetec (ana.credendio@itaipuparquetec.org.br)
[2] Instituição /Itaipu Parquetec (karina.custodio@itaipuparquetec.org.br)
[3] Instituição /Itaipu Parquetec (ana.lied@itaipuparquetec.org.br)
[4] Instituição /Itaipu Parquetec (alysson.guimaraes@itaipuparquetec.org.br)
[5] Universidade Estadual do Oeste do Paraná (adilsonfalves@gmail.com)

Resumo: Este artigo analisa o impacto do Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial, desenvolvido por Itaipu Parquetec, que apoia projetos de extensão em 16 instituições de ensino superior públicas no Paraná e sul do Mato Grosso do Sul. Com 208 projetos contemplados e 974 bolsistas envolvidos, o programa foca em áreas como educação ambiental, agricultura sustentável, gestão de bacias e energias renováveis. A curricularização da extensão universitária é estratégica para alinhar o ensino superior às demandas sociais com possibilidade de promover uma formação crítica e conectada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa integração entre os ODS e a extensão pode contribuir para soluções relacionadas à erradicação da pobreza, sustentabilidade ambiental e inclusão social além possibilitar o fortalecimento da relação entre universidade e comunidade. O artigo analisa, por meio de dados amostrais de 131 entre os 208 projetos contemplados, a penetração da extensão universitária dos cursos de engenharia e tecnologias mapeando como esses cursos contribuem para o Programa.

Palavras-chave: Curricularização da Extensão, ODS, Itaipu Binacional, Sustentabilidade, Educação Superior.

Curricularization of University Extension: Impact of the Itaipu Sustainability Program on the SDGs in Paraná and Southern Mato Grosso do Sul

Abstract: This article analyzes the impact of the Territorial Sustainability Extension Program, developed by Itaipu Parquetec, which supports extension projects at 16 public higher education institutions in Paraná and southern Mato Grosso do Sul. With 208 approved projects and 974 scholarship students involved, the program focuses on areas such as environmental education,

sustainable agriculture, watershed management, and renewable energy. The curricular integration of university extension activities is a strategic approach to aligning higher education with social demands, with the potential to promote a critical educational experience connected to the Sustainable Development Goals (SDGs). This integration between the SDGs and extension activities can contribute to solutions related to poverty eradication, environmental sustainability, and social inclusion, while also strengthening the relationship between universities and local communities. Based on a sample of 131 out of the 208 supported projects, the article analyzes the penetration of university extension within engineering and technology programs, mapping how these courses contribute to the program.

Key words: Extension Curricularization, SDGs, Itaipu Binacional, Sustainability, Higher Education.

Introdução

A curricularização da extensão universitária tem se consolidado como uma política estratégica para o fortalecimento do papel social das instituições de ensino superior no Brasil. A partir da Resolução CNE/CES nº 7, de 18 de dezembro de 2018, passou a ser obrigatória a inserção de, no mínimo, 10% da carga horária dos cursos de graduação em atividades de extensão. Tal diretriz implica profundas mudanças nos Projetos Pedagógicos de Curso (PPCs) e na lógica formativa, ao exigir a articulação entre ensino, pesquisa e extensão orientada por finalidades sociais transformadoras.

Idealmente esse processo poderia articular-se com os desafios das sociedades globais e locais, como por exemplo, os expressos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que se colocam como referência para políticas públicas e ações coletivas. Ao alinhar a extensão universitária a esses objetivos, abre-se uma oportunidade de ancoragem formativa, capaz de conectar o conhecimento acadêmico às urgências do mundo contemporâneo como: a pobreza, a desigualdade, a degradação ambiental e os dilemas da sustentabilidade. Nesse sentido, a convergência entre a curricularização da extensão com os ODS pode oferecer uma oportunidade para que as universidades contribuam diretamente para a solução dos impactos que se aproximam em função do aquecimento global e contribuir, por meio de projetos que integrem ensino, pesquisa e extensão para a soluções pensadas localmente. Essa conexão pode fornecer ao estudante um roteiro formativo que, aliado à

busca por inovação, tem potencial de propiciar um *background* inteligível para o desenvolvimento de *skills* buscadas pelo mercado.

Neste cenário, a implementação da curricularização da extensão exige atenção tanto dos seus fundamentos políticos e pedagógicos quanto das formas de implementação concreta. Um desses modos é representada pelo Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial que ocorre dentro do Programa Itaipu Mais que Energia. Essa iniciativa, lançada pela Itaipu Parquetec em 2024, tem abrangência sobre instituições públicas de ensino superior do Paraná e do sul do Mato Grosso do Sul. Embora tenha como foco o fomento a projetos de extensão territorializados e alinhados aos ODS, este artigo toma o programa como estudo de caso para analisar os efeitos, os limites e as potencialidades da curricularização como política pública.

O objetivo é discutir os impactos formativos dessa política sobre os estudantes, os desafios institucionais enfrentados pelas universidades públicas na sua implementação e o papel da extensão crítica como mediação entre a universidade e a sociedade. Trata-se de uma análise inicial, de caráter empírico-bibliográfico, baseada na observação direta da gestão e dos materiais técnicos do programa, articulada com a literatura especializada sobre extensão universitária e formação cidadã. Trata-se de um estudo empírico-bibliográfico inicial onde os autores estão conectados com a gestão e acompanhamento do Programa. As bases de dados utilizadas nesse estudo foram fornecidas por Itaipu Parquetec e compõem-se de informações fornecidas durante a submissão dos projetos e de um questionário respondido pelos coordenadores dos projetos entre fevereiro e março de 2023. O questionário foi enviado a todos os coordenadores, dos quais 131 responderam. A abordagem na análise é descritiva. Como se trata de um Programa que se encontra em desenvolvimento as analises aqui apresentadas são preliminares; contudo, salienta-se que há um acompanhamento contínuo sendo realizado para a elaboração de métricas e validação dos resultados.

Curricularização da Extensão seus desafios e possibilidades intrínsecos às Universidades e pesquisas referentes aos ODS

A curricularização da extensão, tal como instituída pela Resolução CNE/CES nº 7/2018, constitui um marco na política de ensino superior no Brasil. Ao estabelecer que ao menos 10% da carga horária dos cursos

de graduação sejam destinados a atividades de extensão, a norma reafirma a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, e demanda a reformulação dos Projetos Pedagógicos de Curso (PPCs), reconfigurando o papel formativo das universidades públicas. Fontenele (2024).

Contudo, sua implementação enfrenta desafios significativos para as universidades, dos quais destacaremos sinteticamente cinco: **1) escalabilidade**, que se traduz na necessidade de adaptar os currículos e a extensão para abranger todos os cursos e estudantes das Instituições de Ensino Superior (IES)**. 2) gestão estratégica dos recursos**, que se traduz na forma de integração da extensão de modo que esta gere impacto positivo nas universidades e na aprendizagem dos estudantes. **3) Gestão dos projetos**, desafio que se conecta a como sistematizar, implementar e mensurar as atividades extensionistas, seja para fins de avaliação ou conectando as universidades a fim de organizar o fluxo de demandas de parceiros externos às possibilidades limitadas das IES. **4) Mudança na cultura**, que se refere a como transformar a percepção da comunidade acadêmica e externa sobre a extensão, valorizando e integrando-a de forma efetiva aos currículos acadêmicos e, **5) Formas de financiamento**, encontrar formas de financiamento para ampliação das ações extensionistas por conta da curricularização.

No plano político-estrutural, tais dificuldades se somam aos desafios de um país de dimensões continentais com diferentes estágios de evolução técnica e atrelado à histórica desigualdade de acesso ao ensino superior. No âmbito das universidades há a precarização do trabalho docente e a crescente lógica de empresariamento da educação. Como alerta Serafim (2023), há o risco de que a curricularização, ao invés de ampliar o compromisso social da universidade, possa ser capturada por lógicas de produtividade, desempenho e competitividade, descaracterizando seu potencial crítico.

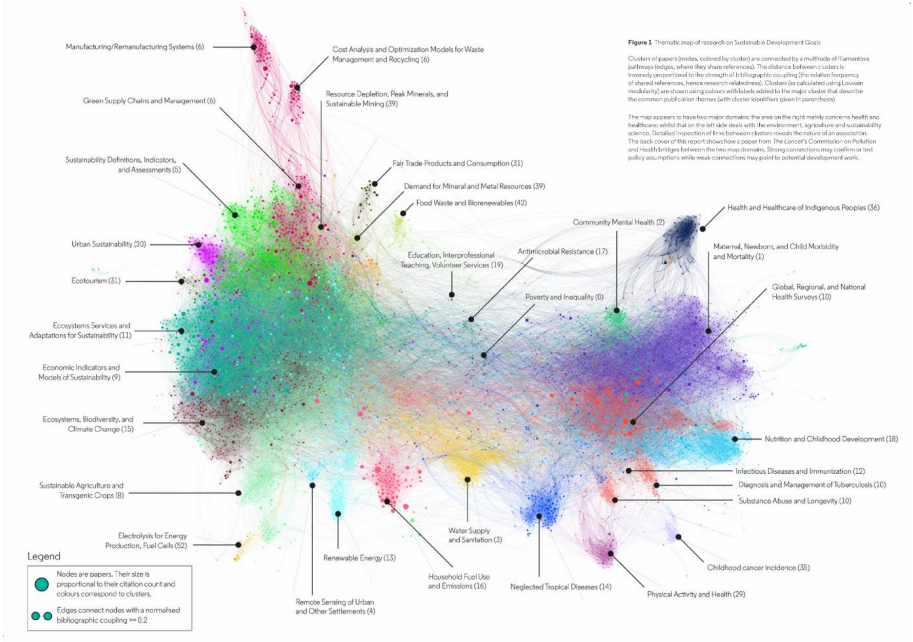
Ademais, os desafios operacionais da implementação não são triviais. A adequação dos PPCs, a articulação entre disciplinas e ações extensionistas, a avaliação do impacto formativo e social das atividades, bem como a necessidade de resistir à privatização e à dependência de trabalho voluntário, exigem da universidade um esforço institucional articulado. A ABEPSS (2021) ressalta que, sem planejamento e financiamento adequados, há o risco de fragmentação da proposta, resultando em experiências de baixo impacto ou desconectadas das realidades comunitárias.

Apesar disso, os potenciais da curricularização da extensão são expressivos. Entre os benefícios destacam-se: (1) a formação integral dos estudantes, com desenvolvimento de competências como liderança, escuta ativa e responsabilidade social; (2) o fortalecimento do vínculo universidade-sociedade, com impacto direto nos territórios; e (3) a conexão entre agendas públicas – como as demandas ESG (Environmental, Social and Governance) – e o conhecimento produzido nas IES.

Nesse contexto, a integração entre a curricularização da extensão e os ODS representa uma estratégia potencialmente inovadora. Há uma evidente sinergia entre os ODS e as Universidades, queremos destacar aqui alguns pontos de convergência para reflexão: 1) as IES estão inseridas em todos os territórios; 2) dispõe de recursos humanos altamente capacitados; 3) possuem um catálogo de diagnósticos dos problemas enfrentados pelas comunidades e suas possíveis soluções e 4) têm capacidade de mobilização de grande contingente de estudantes.

Para ilustrar a conexão das universidades com essas temáticas analisaremos o relatório *"Navigating the Structure of Research on Sustainable Development Goals*" que investigou uma vasta quantidade de artigos científicos e dados para mapear a pesquisa relacionada aos ODS. O estudo identificou inicialmente 2.800 *core papers* que mencionavam explicitamente "Sustainable Development Goal(s)" no título, resumo ou palavras-chave, posteriormente, este conjunto inicial foi expandido para incluir artigos que citavam os artigos centrais, resultando em um conjunto total de aproximadamente 10.300 documentos. Os artigos estavam indexados na Web of Science, que contém mais de 20.000 periódicos acadêmicos e anais de conferências em todas as áreas da ciência, ciências sociais e humanidades. Da análise resultaram 26 grupos temáticos principais (clusters) de pesquisa relacionados, que podem ser observado na figura 1.

Figura 1. Mapa temático de pesquisas com foco nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Navigating the Structure of Research on Sustainable Development Goals, 2019, p.6.

Ao integrar os ODS à prática extensionista, as universidades não apenas reforçam sua relevância social, mas assumem papel protagonista na produção de soluções contextualizadas para os desafios globais. Observa-se ainda a preocupação das universidades, em âmbito internacional, em mapear e buscar soluções para os problemas ambientais e sociais. A integração da extensão aos currículos, não apenas enriquece a formação dos estudantes, mas também pode posicionar as instituições de ensino superior papel em um central como agentes ativos na promoção de inovação e sustentabilidade.

O Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial e sua interface com os ODS

O programa é uma iniciativa de Itaipu Parquetec e financiado pela ITAIPU Binacional e visa apoiar projetos de extensão universitária voltados à curricularização em instituições de ensino superior públicas no estado do Paraná e no sul do Mato Grosso do Sul. Engloba 16 universidades (UEM, UNESPAR, UEL, UNIOESTE, UNICENTRO,

UENP, UEPG, IFPR, UTFPR, UFPR, UFFS, UNILA, IFMS, UFMS, UFGD e UEMS). O objetivo principal é fortalecer a curricularização da extensão e, por meio dela, a relação entre a universidade e a sociedade, focando na Agenda 2030.

O edital do programa estruturou-se em torno de dez eixos temáticos diretamente vinculados aos ODS, incluindo: educação ambiental; gestão de bacias hidrográficas; agricultura familiar, extensão rural e agroecologia; energias alternativas; plantas medicinais e fitoterápicos; piscicultura e pescadores; comunidades indígenas; gestão de resíduos sólidos e catadores; extensão universitária voltada aos ODS; e saneamento rural e urbano. Cada projeto submetido deveria obrigatoriamente indicar os eixos temáticos a serem abordados, os ODS trabalhados e as parcerias com escolas, comunidades ou organizações locais.

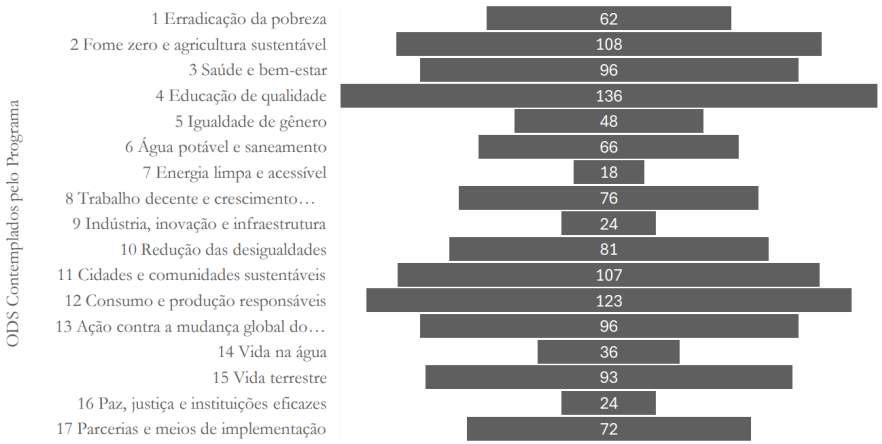
O programa recebeu 573 propostas, das quais 208 foram selecionados. Os projetos envolvem 974 bolsistas e abrangem 60 municípios, com previsão de execução entre novembro de 2024 e novembro de 2025. Embora o volume numérico por si só já demonstre a capilaridade da proposta, o que torna o programa relevante para fins deste estudo é sua ênfase na vinculação entre os projetos extensionistas e a formação acadêmica crítica dos estudantes. A exigência de que as ações fossem articuladas com os ODS, com acompanhamento institucional, relatórios de impacto e conexões com os currículos dos cursos tem o potencial de contribuir não apenas para o fortalecimento da extensão como dimensão pedagógica e política da graduação, mas também o de contribuir com a reflexão e a criação de um banco de experiências de extensão.

De acordo com os dados sistematizados pela equipe responsável pelo programa, os ODS mais contemplados entre os projetos aprovados foram: ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), conforme evidenciado no Gráfico 1. Esses resultados refletem, por um lado, as prioridades socioambientais e as demandas específicas das comunidades e territórios onde os projetos são executados, destacando preocupações relativas à melhoria do ensino, à promoção de práticas de produção e consumo mais conscientes e sustentáveis, ao combate à insegurança alimentar e ao desenvolvimento de práticas agrícolas resilientes, bem como à criação e fortalecimento de ambientes urbanos mais inclusivos e ambientalmente equilibrados.

Por outro lado, os projetos também evidenciam a relevância e a eficácia das universidades envolvidas ao traduzirem agendas globais de desenvolvimento sustentável em ações concretas adaptadas às realidades locais. Além disso, destaca-se a importância da atuação conjunta das instituições acadêmicas com os atores locais, potencializando o impacto positivo das iniciativas.

Quando alinhamos à figura1 referente aos estudos internacionais com a aplicação prática dos ODS, com o gráfico 1, referente aos projetos contemplados pelo Programa de Extensão da Itaipu Binacional, observamos que a sustentabilidade depende de uma abordagem integrada que una a produção científica à aplicação prática dos objetivos estabelecidos pela ONU. Essa relação pode ser observada ao comparar estudos internacionais e o impacto do Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Binacional. Enquanto os artigos acadêmicos exploram as bases teóricas e interconexões entre os ODS, os projetos de extensão em análise demonstram como essas ideias podem ser traduzidas em ações concretas atuando diretamente sobre os territórios em diálogo com os atores.

Gráfico 1. Número de projetos contemplado por ODS em números absolutos



Fonte: Sistematizados pelos autores de acordo com relatório de Itaipu Parquetec, 2025.

Além da convergência temática entre os projetos aprovados e a literatura internacional – que destaca a centralidade da educação, do consumo responsável e da justiça territorial no enfrentamento das

desigualdades (Navigating the Structure of Research on Sustainable Development Goals, 2019) –, o programa evidencia um esforço de governança colaborativa, envolvendo universidades, comunidades, uma empresa pública estratégica e um parque tecnológico que articula as ações. Esse arranjo institucional inédito no Brasil possibilita não apenas o financiamento de ações extensionistas, mas também sua valorização dentro de um ecossistema de inovação onde os currículos podem ser repensados e o potencial formativo ampliado.

O Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial como estudo de caso da curricularização da extensão universitária nos cursos de engenharia e áreas da tecnologia

No contexto dos 208 projetos aprovados, este artigo apresenta uma análise amostral de 131 projetos, que reúnem 452 bolsistas. Os dados revelaram a participação de 79 cursos, incluindo graduações plenas e cursos técnicos de nível superior. Entre os cursos envolvidos, merece destaque a expressiva presença da grande área das Engenharias, com 18 cursos, totalizando 185 bolsistas – o equivalente a 40,93% da amostra. Dentre eles, sobressaem os cursos de Engenharia Agronômica (86 bolsistas), Engenharia Ambiental (17), Engenharia da Energia (7) e Engenharia Civil (6). A inserção desses cursos é particularmente relevante, considerando seu protagonismo no desenvolvimento de soluções técnicas, sustentáveis e escaláveis para os desafios colocados pelos objetivos do Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial.

Quando ampliamos a análise para os cursos com ênfase em tecnologia, identificamos 42 cursos, responsáveis por 297 bolsistas – o que representa 65,49% da amostra. Esse dado reforça o papel das áreas tecnológicas como vetores de inovação e impacto social, capazes de transformar a extensão universitária em espaço privilegiado de experimentação, empreendedorismo e desenvolvimento territorial.

A Curricularização da Extensão, ao mobilizar saberes técnicos e científicos das engenharias e das áreas tecnológicas, afirma-se como uma via potente para integrar formação acadêmica, responsabilidade social e inovação.

Dessa forma, evidencia-se claramente o papel central desempenhado pelos cursos das áreas de engenharias e tecnologia na promoção da inovação tecnológica e no desenvolvimento de soluções práticas alinhadas aos desafios contemporâneos delineados pelos ODS. Ao

aproximar estudantes dessas áreas ao campo prático por meio extensão universitária, cria-se um ambiente fértil para experimentação, aplicação do conhecimento técnico-científico adquirido em sala de aula e desenvolvimento de competências essenciais à prática profissional, tais como trabalho colaborativo, criatividade, pensamento crítico e empreendedorismo. Além disso, a curricularização da extensão potencializa a formação acadêmica ao vincular diretamente o ensino às demandas sociais concretas, permitindo que futuros profissionais contribuam para o avanço tecnológico, social e ambiental das comunidades e territórios. Portanto, a participação destacada desses cursos colabora para consolidar a extensão universitária como um campo essencial não apenas para a construção de conhecimento aplicado, mas também para a formação de profissionais aptos a impulsionar o desenvolvimento sustentável com responsabilidade social e visão estratégica.

Considerações finais

A curricularização da extensão constitui uma oportunidade estratégica para reconfigurar a formação universitária no Brasil, articulando o ensino superior às demandas sociais, políticas e ambientais dos territórios. Ao exigir a integração da extensão aos currículos, essa política convoca as instituições de ensino superior a assumirem um papel mais ativo na produção de conhecimento socialmente referenciado e na formação crítica de seus estudantes.

A análise realizada evidenciou que a implementação dessa política pública enfrenta importantes desafios: ausência de financiamento contínuo, resistências institucionais, fragilidade nos projetos pedagógicos e tensões com a lógica produtivista que atravessa o campo educacional. Ainda assim, as experiências em curso demonstram que há margem para inovações formativas e institucionais, desde que sejam respeitados os princípios da extensão crítica e participativa.

O Programa Itaipu Mais que Energia, tomado aqui como estudo de caso, ilustra como a articulação entre políticas públicas de fomento, universidades e ODS pode gerar impactos tanto para a formação discente quanto para os territórios atendidos. Sua estrutura, orientada por princípios de governança colaborativa, territorialização e foco na sustentabilidade, reforça o papel das universidades públicas como agentes estratégicos no enfrentamento dos desafios contemporâneos.

A participação expressiva de cursos das áreas de engenharias e tecnologias reforça o papel da universidade como indutora de soluções inovadoras, articulando conhecimento técnico-científico à ação social. A adesão significativa de docentes e discentes a esses processos indica também uma inflexão positiva na cultura acadêmica, pautada pelo diálogo com os problemas reais dos territórios e pela valorização do saber construído coletivamente.

Dessa forma, a curricularização da extensão deve ser compreendida não apenas como uma exigência normativa, mas como uma oportunidade estruturante de renovar os processos formativos, fortalecer o compromisso social da universidade e ampliar sua capacidade de intervenção na realidade. Para isso, é indispensável garantir condições institucionais, políticas e financeiras adequadas, além de consolidar marcos regulatórios que sustentem uma extensão crítica, democrática e emancipadora.

Referências

ABEPSS. Comissão Temporária de Trabalho. **Documento preliminar acerca da Curricularização da Extensão**. Brasília, DF: Comissão Temporária de Trabalho, 2021. Disponível em: https://www.abepss.org.br/20210608_documento-preliminar-curricularizacao-da-extensao.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução nº 7, de 18 de dezembro de 2018. Estabelece as Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira e regimenta o disposto na Meta 12.7 da Lei nº 13.005/2014, que aprova o Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024 e dá outras providências. Brasília, DF: CNE, 2018. Disponível em: https://normativasconselhos.mec.gov.br /CNE_RES_CNECESN72018.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

FALS BORDA, Orlando. Democracia y participación: algunas reflexiones. **Revista Colombiana de Sociología**, v. 5, n. 1, Bogotá, 1987, p. 35-40.

FALS BORDA, Orlando. La ciencia y el pueblo. In: GROSSI, F. V.; GIANOTTEN, V.; WIT, T. De (org.). **Investigación participativa y praxis rural**. Lima: Mosca Azul, 1981. p. 19-47.

FONTENELE, I. C. **A privatização da proteção social no Brasil:** alguns apontamentos sobre a problemática. Teresina, PI: UFPI, 2023.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia:** saberes necessários à prática Educativa. 25. ed. São Paulo, SP: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, R. Ética e Política Contemporâneas. Cuiabá, MT: UFMT EM REDE/ SETEC, 2021. Disponível em: https://setec.ufmt.br /Etica_Politica_Contemporanea.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

NAKAMURA, Masafumi Et, All. Navigating the Structure of Research on Sustainable Development Goals, 2019. Report series from the Institute for Scientific

Information (ISI). Disponível em: https://clarivate.com/academia-government/lp/navigating-the-structure-of-research-on-sustainable-development-goals-2 /Acesso em 15 Dez. 2024.

SAVIANI, D. **Ensino público e algumas falas sobre Universidade**. São Paulo, SP: Cortez/Autores Associados, 1986. (Coleção Polêmicas do nosso tempo, n. 10).

SERAFIM, A. B. A curricularização da extensão e o neoliberalismo: a governabilidade na resolução e nos discursos de docentes. 2023. 111f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade São Francisco (USF), Programa de Pós-Graduação em Educação, Itatiba, SP, 2023. Disponível em: https://www.usf.edu.br/3130579654274102.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial: Itaipu e Itaipu Parquetec contribuindo para a Extensão Universitária regional

Welinton Camargo Ferreira[1], Ana Paula Credendio[2], Karina ZavilenskiCustódio[3], Ana Paula Trevisan Lied[4] eAlysson Guilherme de Lima Guimaraes[5]

[1]*UNIOESTE/UNIOESTE (welintonferreira@hotmail.com)*

[2] *Instituição /Itaipu Parquetec (ana.credendio@itaipuparquetec.org.br)*

[3] *Instituição /Itaipu Parquetec (karina.custodio@itaipuparquetec.org.br)*

[4] *Instituição /Itaipu Parquetec (ana.lied@itaipuparquetec.org.br)*

[5] *Instituição /Itaipu Parquetec (alysson.guimaraes@itaipuparquetec.org.br)*

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar o Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial, uma iniciativa inovadora da Itaipu Binacional. O programa visa fomentar projetos de extensão universitária em 17 (dezessete) instituições públicas de ensino superior localizadas no estado do Paraná e no sul do Mato Grosso do Sul, com o propósito de contribuir para o desenvolvimento das comunidades locais e fortalecer os vínculos entre as Instituições de Ensino Superior (IES) e a sociedade. A metodologia deste estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica e documental de forma indireta, com base em artigos científicos, bem como em documentos oficiais da Itaipu e Itaipu Parquetec. A expressiva adesão ao edital do programa, com 549 propostas submetidas por 16 IES, provenientes de 51 municípios, evidencia a relevância do programa, que se destaca como um modelo exemplar de colaboração entre instituições públicas, universidades e comunidades locais, capaz de gerar impactos positivos e duradouros.

Palavras-chave: ITAIPU, Itaipu Parquetec, Extensão Universitária. Curricularização.

Extension Program for Territorial Sustainability: Itaipu contributing to regional University Extension.

Abstract: This work aims to present the Territorial Sustainability Extension Program, an innovative initiative by Itaipu Binacional. The program seeks to promote university extension projects in 17 (seventeen) public higher education institutions located in the state of Paraná and southern Mato Grosso do Sul, with the purpose of contributing to the development of local communities and strengthening the ties between Higher Education Institutions (HEIs) and society. The methodology of this study was based on indirect bibliographic and documentary research, drawing on scientific articles as well as official

documents from Itaipu and Itaipu Parquetec. The significant response to the program's call for proposals, with 549 submissions from 16 HEIs across 51 municipalities, highlights the program's relevance. It stands out as an exemplary model of collaboration between public institutions, universities, and local communities, capable of generating positive and lasting impacts.

Keywords: ITAIPU, Itaipu Parquetec, University Extension, Curricularization.

Introdução

Ao longo de sua história, a Extensão Universitária tem apresentado diversas fases que vão do assistencialismo religioso a interação dialógica (Oliveira & Goulart, 2015). A Extensão Universitária é compreendida como a ação da Universidade junto à comunidade que possibilita o compartilhamento do conhecimento adquirido por meio do ensino e da pesquisa desenvolvidos na instituição com as comunidades locais. É a articulação do conhecimento científico oriundo do ensino e da pesquisa com as necessidades da comunidade local, interagindo e transformando a realidade social. Neste sentido, Itaipu aparece como um importante agente fomentador.

Fruto de um acordo binacional, a Hidrelétrica de Itaipu surge como uma resposta da administração pública a crise energética vivida na década de 50, para além da energia gerada, a criação da usina estreitou os laços de cooperação entre o Brasil e o Paraguai, a formação de seu reservatório alagou uma área de 1.350 km² o que alterou significativamente os cenários políticos econômicos e sociais na região.

A atuação socioambiental de Itaipu iniciou com sua construção, sendo uma das primeiras Usinas brasileiras a desenvolver um programa amplo de redução de impactos ambientais. Em 2023, Itaipu anuncia o Programa Itaipu Mais que Energia, que reúne iniciativas que vão da preservação ambiental ao apoio a projetos sociais, sempre com o objetivo de promover o bem-estar das comunidades, sua abrangência territorial 11 milhões de habitantes no Paraná e 35 no Mato Grosso do Sul.

Neste processo de mudanças, o Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) criado em 2003 pela Itaipu lança o edital para a seleção de Projetos de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Binacional nos estados do Paraná e região sul do Mato Grosso do Sul, tendo como objetivo principal apoiar projetos de extensão universitária em instituições de ensino superior públicas no estado do Paraná e Sul do Mato Grosso do Sul, este convênio é uma iniciativa precursora que estabelece

um marco entre as instituições de ensino superior e a sustentabilidade territorial.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial, ferramenta criada pela Itaipu e Itaipu Parquetec para fomentar projetos de extensão universitária voltadas a sustentabilidade territorial nos 399 municípios do Estado do Paraná e 35 no Mato Grosso do Sul. Para tanto, este artigo está organizado em quatro seções, além desta introdução. Na seção 2, encontram-se metodologia utilizada. A terceira, comtempla os aspectos teóricos que o alicerçam. A quarta, traz uma análise do edital proposto pela Itaipu e Itaipu Parquetec e a adesão a proposta. Por fim, na quinta seção, encontram-se as considerações finais.

Metodologia

No que tange às técnicas utilizadas, este estudo se baseou na documentação indireta, cujos dados coletados são produzidos por terceiros e se tornaram fontes para a pesquisa em epígrafe. Foram contemplados, nesta pesquisa, a pesquisa Bibliográfica e documental, sendo a pesquisa bibliográfica realizada por meio de artigos científicos, originários de sites acadêmicos como o Google Acadêmico, Scielo e o Portal de Periódicos da CAPES, e a pesquisa documental por meio de documentos oficiais da Itaipu e da Itaipu Parquetec.

A pesquisa bibliográfica teve como objetivo relacionar as dimensões abordadas de modo a compreender, de forma mais aprofundada, os saberes em obras que tratam do mesmo tema ou de temas relacionados ao da pesquisa (Tonozi-Reis, 2009). A análise documental buscou selecionar, categorizar, classificar e tratar os dados. A análise acontece de modo que o conteúdo será apresentado de uma forma distinta da original, ou seja, diversa dos dados brutos (Marconi & Lakatos, 2017).

O método de abordagem adotado foi o método indutivo, ou seja, considerando que foram extraídos elementos informativos dos documentos originais que possuem relação com tema estudado, a definição por um estudo indutivo ocorre quando o estudo é conduzido apenas a conclusões gerais, cujo objetivo dos argumentos é conduzir a conclusões do qual o conteúdo é mais vasto do que o das premissas nas quais se basearam (Marconi & Lakatos, 2017).

Referencial Teórico

Extensão Universitária

Reconhecida como um dos pilares de sustentação de uma universidade pública, a Extensão universitária é uma das funções essenciais, pois, abrange em um processo educativo, cultural, científico e tecnológico que liga o conhecimento acadêmico com as necessidades da sociedade, visando a transformação social e a socialização do conhecimento. O Plano Nacional de Extensão Universitária conceitua a extensão universitária como, "o processo educativo, cultural e científico que articula o Ensino e a Pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre Universidade e Sociedade" (FORPROEX, 2001a).

A extensão universitária é norteada por princípios fundamentais, são eles: a interação dialógica; interdisciplinaridade e interprofissionalidade; indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão; impacto na formação do estudante; e impacto e transformação social. Para que a extensão universitária seja realizada é necessário o financiamento, pois sua execução depende de deslocamentos, bolsas e projetos, este se configura como um dos grandes desafios a serem superados. Gadotti considera que é premente que os alunos conheçam o entorno da universidade, indo a lugares mais empobrecidos: favelas, prisões, hospitais, escolas, igrejas..., descobrindo in loco como como vivem as populações vulneráveis no Brasil, pois a realidade do mundo deve ser o primeiro grande educador (Gadotti, 2017).

Curricularização da extensão

No Brasil, a curricularização da extensão foi fortalecia pela Resolução nº 7, de 18 de dezembro de 2018, do Conselho Nacional de Educação (CNE), que regulamenta a inclusão de, no mínimo, 10% (dez porcento) da carga horária total dos cursos de graduação em atividades de extensão. Essa regulamentação visa atender às diretrizes do Plano Nacional de Educação (PNE) 2014–2024, no qual a extensão é reconhecida como um dos pilares fundamentais para a formação acadêmica e o desenvolvimento social (BRASIL, 2018).

Itaipu

Na década de 60 o Brasil tinha como foco consolidar seu crescimento econômico, e para isso era necessário ter disponibilidade de

fontes de energia, pois, sem o petróleo e a energia elétrica não seria possível se apresentar como uma nação forte e poderosa no cenário internacional.

A Hidrelétrica de Itaipu surge como uma resposta do país a crise energética vivida na década de 50, para além da energia gerada, o acordo entre Brasil e Paraguai para a criação da usina estreitou os laços de cooperação, e de quebra colocou fim a uma disputa de limites fronteiriços, com a formação do reservatório da usina uma área de 1.350 km² foi alagada, o que alterou significativamente os cenários políticos econômicos e sociais na região.

Em paralelo com a construção, Itaipu começa suas atuações socioambientais, vale salientar que Itaipu foi pioneira em desenvolver um programa amplo de redução de impactos ambientais no Brasil. Com o passar dos anos, Itaipu revisa e amplia sua missão, que estava voltada para a geração de energia para a geração de energia de qualidade, com responsabilidade social e ambiental.

Itaipu Parquetec

Os parques tecnológicos são ambientes concebidos para promoverem inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico por meio da interação entre universidades, empresas públicas e privadas, e centros de pesquisa. Sua importância se expressa nos produtos e processos que disponibilizam para a sociedade, além de contribuírem para o aumento de empregos que necessitam de qualificação (Pereira; Oliveira; Oliveira, 2016).

Em 2003 Itaipu cria o Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), que busca além de reforçar sua nova missão, incorporar ações em seu planejamento estratégico que impulsionam o desenvolvimento econômico, turístico e tecnológico, no Brasil e no Paraguai. O PTI caracteriza-se como um espaço estratégico para alcançar o desenvolvimento proposto pela Itaipu na região e se posiciona no oeste do Paraná como um ambiente transformador de conhecimento e inovação em prol do bem-estar social (IP, 2025).

Em junho de 2024, o Parque Tecnológico de Itaipu assume uma nova Identidade e passa a ser denominado de Itaipu Parquetec (IP), para além de seu nome, esta mudança fortalece seu compromisso, parcerias estratégicas e projeta novas soluções tecnológicas, buscando impacto positivo para as comunidades locais e globais (IP, 2025).

Itaipu Mais que Energia

Em 2023, Itaipu anuncia novas diretrizes e um considerável aumento em sua abrangência territorial, beneficiando 434 municípios, sendo 399 no Paraná e 35 no Mato Grosso do Sul, beneficiando 11 milhões de habitantes, o Programa Itaipu Mais que Energia reúne iniciativas que vão da preservação ambiental ao apoio a projetos sociais, sempre com o objetivo de promover o bem-estar das comunidades.

Figura 1 – Area de abrangência do Programa Itaipu Mais que Energia



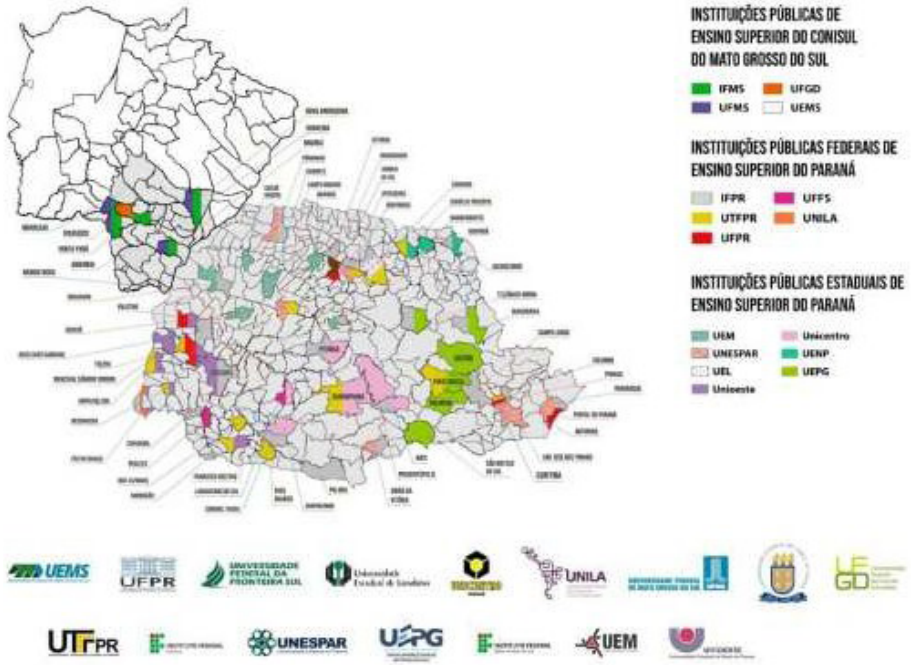
Fonte: Itaipu 2025

Programa de Extensão em Sustentabilidade Territorial

Neste processo de mudanças, o Itaipu Parquetec (IP) lança o edital para a seleção de Projetos de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Binacional nos estados do Paraná e região sul do Mato Grosso do Sul. Este convênio é um instrumento sem precedentes na relação entre Itaipu e as Instituições de Ensino Superior (IES), que tem por objetivo apoiar projetos de extensão universitária nas 17 (dezessete) instituições de ensino superior públicas no estado do Paraná e Sul do

Mato Grosso do Sul, buscando contribuir com as comunidades locais, fortalecendo assim, o vínculo entre as IES e a sociedade.

Figura 2 – Instituições de Ensino Superior conveniadas



Fonte: Itaipu Parquetec, (IP, 2025a)

Com investimentos previstos de R$ 24 milhões de reais, onde, inicialmente foi previsto uma seleção de 200 (duzentos) projetos de extensão e a concessão de 1000 (mil) bolsas para graduandos e coordenadores adjuntos para as seguintes IES: FAFIMAN, UEM, UNESPAR, UEL, UNIOESTE, UNICENTRO, UENP, UEPG, IFPR, UTFPR, UFPR, UFFS, UNILA, IFMS, UFMS, UFGD e UEMS. Apenas com estas características o programa se estabelece como uma importante fonte de financiamento para a extensão universitária brasileira.

Objetivos e Benefícios Esperados

Conforme já apresentado, o objetivo principal deste projeto é o fomento a extensão universitária na área de abrangência do programa Itaipu Mais que Energia, ou seja, no Estado do Paraná e no sul do Estado do Mato Grosso do Sul, buscando utilizar da capilaridade das IES para contribuir com as comunidades locais, para isso o edital

estabelece que os projetos tenham como foco primário os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela União das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030 e os seguintes eixos: educação ambiental; gestão em bacias; agricultura familiar, extensão rural e agroecologia; energias alternativas; plantas medicinais e fitoterápicos; piscicultura e pescadores; comunidades indígenas; gestão de resíduos sólidos e catadores; extensão universitária para ODS; saneamento rural e urbano. A utilização de eixos temáticos permite a articulação de conteúdos diferentes, pois estes permitem amplitude conceitual, interdisciplinaridade, contextualização e flexibilidade (Hernandez, 1998).

Instituições de ensino superior desenvolvem um papel central nesta ação, uma vez que, formam profissionais, produzem conhecimento e inovação (Neave, 2000; Mccowan, 2016; Chankseliani; Mccowan, 2021). Itaipu e Itaipu Parquetec são instituições comprometidas com os ODS, desta forma, ter como foco primário no Programa de Extensão para a Sustentabilidade Territorial reafirmam o compromisso destas instituições com a Agenda 2030, no edital em questão, as instituições parceiras devem encaminhar propostas alinhadas com no mínimo 02 (dois) dos 17 ODS.

Os eixos apresentados no edital refletem os compromissos da Itaipu Binacional para com a sociedade, a parceria com as IES promove o desenvolvimento científico, tecnológico e inovação, além de apoiar a curricularização da extensão.

Os benefícios esperados deste projeto desenvolvido pela Itaipu são diversos e impactam positivamente tanto o ensino superior quanto as comunidades alvo desta ação. Em primeiro lugar, espera-se o fortalecimento da curricularização da extensão no ensino superior no Paraná e na região sul do Mato Grosso do Sul, integrando as práticas extensionistas de forma mais consistente aos currículos acadêmicos.

Além disso, o projeto visa promover a conscientização sobre temas e dimensões da sustentabilidade, contribuindo assim para a formação de cidadãos mais críticos e responsáveis. Outro benefício encontrado é a maior integração e envolvimento entre a universidade e a comunidade local, por meio da construção, compartilhamento e troca de conhecimentos, experiências e saberes, fortalecendo os laços entre esses dois atores. O fomento ao avanço do conhecimento científico, tecnológico e de inovação também é um ponto central, impulsionando pesquisas e

soluções inovadoras. Por fim, o projeto busca promover e consolidar políticas públicas indutoras do desenvolvimento sustentável regional.

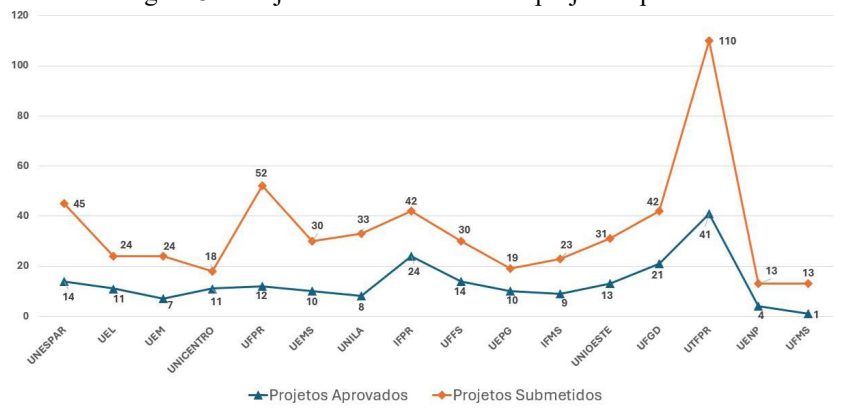
Ao desenvolver esta iniciativa Itaipu fortalece um elo entre as Universidades, a iniciativa privada, os entes governamentais e a sociedade civil, se alinhando assim ao modelo de Hélice Quadrupla desenvolvido por Carayannis & Campbell, 2012, o qual gera benefícios expressivos, pois, a incorporação sistemática de atores sociais no processo de inovação promove a cocriação de soluções sustentáveis e minimiza a resistência à adoção de novas tecnologias.

Adesão e seleção

Lançado em maio de 2024, o edital recebeu em sua fase de submissão um total 549 (quinhentos e quarenta e nove) propostas das 16 (dezesseis) IES conveniadas, mostrando uma ampla adesão ao programa, vale ressaltar que, algumas IES possuem unidades em mais de uma cidade, desta forma, estes propostas se originaram de 51 (cinquenta e um) municípios do Estado do Paraná e do Sul do Estado do Mato Grosso do Sul, onde todos os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável foram contemplados, inclusive o recém criado ODS 18.

Em setembro de 2024 o governo brasileiro lança uma iniciativa chamada ODS 18, como um objetivo adicional aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Esse ODS 18 tem como foco a "Igualdade Étnico-Racial", buscando promover políticas públicas e ações que combatam o racismo estrutural e garantam equidade para todos os grupos étnicos e raciais no Brasil (BRASIL, 2025).

Figura 3 – Projetos submetidos versus projetos aprovados



Fonte: Itaipu Parquetec, (IP, 2025a)

O processo de seleção dos projetos recebidos levou em consideração as notas de 5(cinco) avaliadores e do professor proponente do projeto, por meio de uma autoavaliação, após esta etapa foram selecionados 210 (duzentos e dez) projetos das 16 Instituições Públicas de Ensino Superior, o investimento médio em cada projeto selecionado está estimado em R$ 83.000,00 entre bolsas, diárias e equipamentos. As instituições que mais submeteram trabalhos foram a UTFPR 110, a UFPR 52 e a UNESPAR com 45 propostas. A implementação deste programa reflete o esforço da Itaipu por meio do Itaipu Parquetec em fomentar o desenvolvimento de projetos de extensão universitária em toda a sua área de atuação, consolidando Itaipu como um importante agente de ações concretas para a transformação das realidades locais.

Considerações finais

O Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Binacional, executado por meio do Itaipu Parquetec, representa um marco significativo na relação entre a instituição e as Instituições de Ensino Superior (IES) dos estados do Paraná e da região sul do Mato Grosso do Sul. A seleção de projetos alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, demonstra o compromisso da Itaipu com um desenvolvimento sustentável que integra as dimensões social, econômica e ambiental. consolidando-se como um modelo inovador de ecossistema integrando universidades, governo, indústria e sociedade civil em prol de soluções sustentáveis. A ampla adesão ao edital, com 549 propostas submetidas por 16 IES, provenientes de 51 municípios, evidencia a relevância do programa e a disposição das instituições de ensino superior em contribuir para a transformação das realidades locais.

Em resumo, o Programa de Extensão para Sustentabilidade Territorial da Itaipu Binacional destaca-se como modelo inovador de colaboração entre instituições públicas, universidades e comunidades locais, capaz de gerar impactos valorosos e contínuos. Ao alinhar-se aos ODS e promover a integração entre ensino, pesquisa e extensão, o programa coopera para um futuro mais sustentável e inclusivo, reafirmando o compromisso da Itaipu com o desenvolvimento regional e global.

Referências

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução nº 7, de 18 de dezembro de 2018.

BRASIL. Ministério da Igualdade Racial. ODS 18: Igualdade Étnico-Racial. Disponível em: https://www.gov.br/igualdaderacial/pt-br/assuntos/ods18. Último acesso em: 28 jan 2025.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. Mode 3 and Quadruple Helix: Toward a 21st century fractal innovation ecosystem. **International Journal of Technology Management**, v. 46, n. 3/4, p. 201-234, 2012.

CHANKSELIANI, M.; MCCOWAN, T. Higher education and the Sustainable Development Goals. **High Educ**, Michigan, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10734-020-00652-w.Último acesso em: 26 jan. 2025.

FORPROEX. **Plano Nacional de Extensão Universitária**. Ilhéus: Editus. 2001a.

HERNÁNDEZ, F. **A Organização do Currículo por Projetos de Trabalho**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

IP. **Itaipu Parquetec**. Disponível em: https://www.itaipuparquetec.org.br/. Acesso em: 26 jan. 2025.

IP. **Itaipu Parquetec**. Programa de Extensão em Sustentabilidade Territorial. 2025a Disponível em: https://www.itaipuparquetec.org.br/programa-extensao/. Acesso em: 26 jan. 2025.

GADOTTI, M. **Extensão Universitária:** Para que?. Disponível em: https://www.paulofreire.org/images/pdfs/Extens%C3%A3o_Universit%C3%A1ria_- _Moacir_Gadotti_fevereiro_2017.pdf. Acesso em: 26 jan 2025.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. (2017). **Fundamentos de metodologia científica**. (8a ed.). São Paulo: Atlas.

MCCOWAN, T. Universities and the post-2015 development agenda: an analytical framework. **Higher Education**, Michigan, v. 72, n. 4, p. 505-523, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10734-016-0035-7. Último acesso em: 26 jan. 2025.

NEAVE, G. R. International Association of Universities, & Mid Term Conference of Heads of Universities. The universities' responsibilities to society: international perspectives, Amsterdam: Pergamon, published for the IAU Press. 2000.

OLIVEIRA, F., & GOULART, P. M. (2015). Fases e faces da extensão universitária: rotas e concepções. **Revista Ciência em Extensão**, 11(3), 8-27.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025.

PEREIRA, M. J.; OLIVEIRA, E. A. A. Q.; OLIVEIRA, A. L. Origens dos parques tecnológicos e as contribuições para o desenvolvimento regional brasileiro. **Latin American Journal of Business Management**, v. 7, n. 1, p. 117-138, 2016

TOZONI-REIS, Marília Freiras de Campos. Metodologia da Pesquisa. 2 ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009. 136 p.

La influencia de la presión atmosférica y la temperatura sobre el nivel de la napa freática en el barranco aluvial San Ildefonso Trujillo, Perú

Carlos Eduardo Quiroz Moreno[1], Vania Elisabete Schneider [2]
[1]Universidad Privada del Norte /eduardo.moreno@upn.pe
[2]Universidad Católica de Trujillo (UCT) – Peru /Universidade Federal de Sergipe (UFS) – Brasil /Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC) e em Recursos Hídricos (PRORH) /Instituto de Pesquisas sobre Desastres (IPD)

Resumen: El barranco aluvial denominada Quebrada San Ildefonso es una formación geológica ubicada en la vertiente occidental de la cordillera andina muy proxima a la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad en Perú. Esta quebrada como consecuencia de las precipitaciones pluviales generadas en el evento climático denominado El Niño Costero 2017 se activó siete veces generando la formación de un cauce pluvial que en su trayectoria cubrió de sedimentos en su escorrentía la ciudad de Trujillo. El presente estudio tuvo como objetivo demostrar la relación existente entre los factores ambientales: presión atmosférica y temperatura ambiental en la fluctuación del nivel freático de la quebrada San Ildefonso determinando que la variación de unos pocos hectopascales (hPa) de presión, así como el incremento de la temperatura influyen en la fluctuación del nivel freático expuesto bajo la superficie del terreno. La metodología consistió en la medición de los parámetros ambientales durante los años 2018 y nivel de la napa freática de un pozo artesiano en desuso ubicado en el cauce de la quebrada durante los meses de enero a julio 2019. Los datos fueron tomados desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua dentro del pozo cada seis horas, acorde a la oscilación máxima y mínima de la marea barométrica. Simultáneamente se registraron la temperatura de aire, del agua y suelo. Se concluye que la presión atmosférica y temperatura influyen en el ascenso y descenso diario del nivel del agua subterránea de la quebrada de San Ildefonso.

Palabras clave: Quebrada San Ildefonso; Nivel freático; Presión y Temperatura ambiental.

The influence of atmospheric pressure and temperature on the level of the groundwater table in the San Ildefonso alluvial ravine, Trujillo, Peru

Abstract: The San Ildefonso alluvial ravine is a geological formation located on the western slope of the Andean mountain range very close to the province of Trujillo, department of La Libertad in Peru. This stream, as a consequence of the rainfall generated in the climatic event called El Niño Costero 2017, was activated seven times, generating the formation of a storm channel, impacting the city of Trujillo in its path. The objective of this study was to demonstrate the relationship between environmental factors: atmospheric pressure and ambient temperature in the fluctuation of the water table of the San Ildefonso stream, determining that the variation of a few hectopascals (hPa) of pressure, as well as the increase in Temperature influences the fluctuation of the water table exposed below the ground surface. The methodology consisted of measuring the environmental parameters during the years 2018 and the level of the water table of a disused artesian well located in the bed of the stream during the months of January to July 2019. The data were taken from the surface of the ground to the water level inside the well every six hours, according to the maximum and minimum oscillation of the barometric tide; The air, water and soil temperatures were simultaneously recorded. It is concluded that atmospheric pressure and temperature influence the daily rise and fall of the groundwater level of the San Ildefonso stream.

Keywords: Quebrada San Ildefonso; Water table; Atmospheric pressure and temperature.

Introducción

Durante episodios de intensas lluvias en la provincia de Trujillo, departamento La Libertad en Perú las escorrentías generadas por la pluviosidad sobre la Quebrada de San Ildefonso descienden desde el embudo de erosión (cuenca de recepción) a través de los tributarios de primer nivel hasta el cauce de transporte. Sobre ello Medina *et al.* (2017) argumenta que el terreno existente en el cauce de la quebrada está conformado por arenas, limos y arcillas, distribuidos en forma caótica y de pobre consolidación, materiales que identificarían a esta área la presencia de acuíferos porosos (Fuentes, 2012). El nivel de agua subterránea va ascendiendo, pudiendo alcanzar la superficie del terreno si la temperatura ambiental alcanza niveles superiores a los 30ºC con un descenso de la presión barométrica menor a 6 hPa en pozos abiertos o grietas expuestas. Estos volúmenes de agua freática emergente se sumarian a los volúmenes de lluvia que desciende desde las vertientes de la quebrada a su cauce de transporte aumentando el caudal.

Durante el verano del año 2017 en la costa norte del litoral peruano se desarrolló un evento climático extremo que por sus características océano atmosféricas se calificó como "Niño Costero 2017" por El Estudio Nacional del Fenómeno El Niño ENFEN (2017). En el litoral marino de la provincia de Trujillo frente al balneario de Huanchaco los días del 11 al 25 de marzo del 2017 la temperatura superficial del mar (TSM) se incrementó de 22,37 °C y anomalía térmica (AT) de +3.53°C (09 de marzo) a 25,63°C y AT de +6.80 (11 de marzo) alcanzando la temperatura de 27,0ºC y AT +8.29°C el día 14 de marzo, condiciones ambientales inusuales para zona que generaron lluvias sobre la provincia de Trujillo y alrededores no menores de 25 mm como lo registro la Estación Meteorológica Automática (EMA) Davis del Proyecto Huacas de Moche. Los días sucesivos la temperatura superficial del mar siguió ascendiendo hasta alcanzar los 29,27°C y AT +10,49 °C el 16 de marzo como lo reporta el Instituto del Mar del Perú IMARPE (2017). Este nivel térmico extremo de la TSM y su AT no se registraba en el litoral peruano y particularmente en el departamento La Libertad en los últimos 19 años posteriores al evento El Niño Oscilación Sur (ENOS) suscitado en febrero del año 1998. Como consecuencia de este evento climático intensas lluvias precipitan sobre la cuenca orográfica de los valles del litoral de La Libertad activando quebradas ubicadas al este de la planicie costanera de la provincia de Trujillo, así como incrementando el cauce de los ríos Moche y Chicama. El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. CENEPRED (2017) considera este evento pluvial como "Extremadamente lluvioso" superando en frecuencia e intensidad las lluvias registradas en los años "Niño 1982-83" y "Niño 1997-98". Las escorrentías y efluentes generados en el cauce de la quebrada San Ildefonso impactaron con sus sedimentos tres distritos de la provincia de Trujillo y la metrópoli misma, ocho activaciones durante los días del 15 al 22 de marzo del año 2017 Proyecta Consultoría (2018a).

La presente investigación se realizó ante el limitado conocimiento en la interacción de la presión barométrica, temperatura ambiental y su influencia en el ascenso y descenso diario del nivel freático de los acuíferos subterráneos de la microcuenca de San Ildefonso. Estas variables ambientales intensifican su dinámica cuando se presentan condiciones climáticas extremas como en eventos El Niño asociado a intensa pluviosidad, favoreciendo el incremento freático y afloramiento superficial

de agua subterránea hacia el cauce de la quebrada la misma que con la lluvia presente en estas condiciones aumenta sustancialmente el caudal de la quebrada. El presente estudio está orientada a demostrar la relación existente entre los factores ambientales: presión atmosférica y temperatura ambiental en la fluctuación del nivel freático en el lecho del barranco aluvial de nominado quebrada San Ildefonso, distrito de El Porvenir, provincia de Trujillo. Por lo descrito anteriormente y no habiéndose realizado trabajos sobre estos factores climáticos en la zona de estudio, la presente investigación se avoco a determinar la influencia de la presión atmosférica y la temperatura ambiental en el ascenso y descenso del agua freática en el cauce de la quebrada San Ildefonso, distrito del Porvenir, provincia de Trujillo departamento La Libertad, para un mejor entendimiento de las fuerzas climáticas en la activación de las quebradas costeras.

Material y Métodos

El presente estudio se desarrolló en las coordenadas geográficas: 8º 2’35.46” Latitud Sur y 78º 59’.

5.96” Longitud Oeste a una altura de 192 m.s.n.m sobre el lecho de la microcuenca San Ildefonso, distrito de El Porvenir, provincia de Trujillo. Esta formación geológica está ubicada en la vertiente occidental de la cordillera de los andes, emplazada en la Inter cuenca 137719 de la vertiente Medición de la napa freática en el pozo artesiano ubicado en el lecho de la quebrada San Ildefonso Registros meteorológicos del Complejo arqueológico Huacas de Moche, Complejo Arqueológico Chan Chán, Servicio de Meteorología y Aeronáutica CORPAC, ONERN-Autoridad Nacional del Agua e información pluviométrica proveniente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2014, 2016).

Se tomaron mediciones del nivel freático del pozo de manera directa, esto es mediante una wincha métrica se midió la distancia entre el nivel del suelo preestablecido y la superficie del agua del pozo. Las primeras mediciones se realizaron entre las 08:50 a 11:00 horas y la segunda medición entre las 15:00 a las 16:00 horas, siguiendo la variación máxima y mínima de la marea barométrica. En cada medición se tomó la presión barométrica, la temperatura del aire, la temperatura del suelo introduciendo el bulbo del termómetro 2 cm bajo el terreno, la temperatura de la roca se realizó colocando el sensor del termómetro

sobre la superficie de la piedra. La temperatura del agua del pozo se realizó extrayendo agua del pozo mediante una jarra plástica de 2 litros de capacidad e inmediatamente introduciendo dentro de la columna de agua el termómetro digital y procediéndose a registrar la lectura.

Análisis de datos

La información recabada fue organizada en tablas sometiendo las variables de estudio: temperatura del aire y presión barométrica a la prueba estadística conocida como "coeficiente producto momento" Hernández *et al.* (2014) . El coeficiente de correlación de Pearson determino el vínculo entre ellas. La información recabada fue organizada en tablas sometiendo las variables de estudio: temperatura del aire y presión barométrica a la prueba estadística conocida como "coeficiente producto – momento" Hernández *et al.* (2014). El coeficiente de correlación de Pearson determino el vínculo entre ellas

$$r_{xy} = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$-1 \leq r \leq 1$$

Donde: rxy: Coeficiente de Correlación de Pearson; X: la variable independiente de intervalo /razón: temperatura del aire; y: la variable dependiente de intervalo /razón: Presión Barométrica, y N: tamaño de la muestra.

Se empleó para el procesamiento el programa Excel 2013, Análisis de datos – Funciones para Análisis – Coeficiente de correlación.

Resultados y Discusión

La quebrada de San Ildefonso es una formación geológica con un área de recepción pluvial de 10,7 km² y con un perímetro de 18,6 km² en forma elipsoidal ubicada a 8 km al noreste del *continuum* urbano de la ciudad de Trujillo. Esta quebrada es una de las siete micro cuencas secas tributarias y no tributarias de la cuenca baja del rio Moche y que, en episodios océano-atmosféricos extremadamente cálidos como los de "El Niño" o de "El Niño Costero" cobran especial atención por los flujos que genera como resultado de las precipitaciones pluviales extraordinarias en dicho evento, efluentes pluviales que transportan solidos suspendidos en gran volumen como en El Niño 1983 donde se estimó un caudal máximo instantáneo de 26 m³/s siendo superado

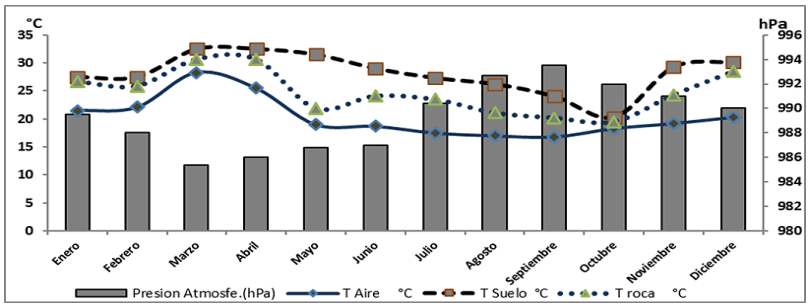
solo por El Niño de 1998, cuando en febrero alcanzó la quebrada San Ildefonso un máximo de 60 m³/s originando el colapso del dique de Mampuesto (Convenio UNT/INDECI, 2002).

La variación de temperatura del aire en la zona de estudio registra una tendencia inversa a los valores de la presión barométrica como se observa en la Tabla y Figura 1 correspondiente a mediciones realizadas el año 2018.

Tabla 1. Registro de temperatura del aire, suelo, roca y presión atmosférica registrada en la quebrada de San Ildefonso. Periodo: enero a diciembre 2018. Altura 186 m.s.n.m. en coordenadas WGS 84: 8° 02'35.46" L.S y 78° 59'596" LW

Parámetros	Ener	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Agos	Sept	Oct	Nov	Di
T Aire °C	21,5	22,1	28,3	25,5	19	18,7	17,5	17,0	16,8	18,3	19,2	20,3
T Suelo °C	27,5	27,5	32,5	32,5	31,5	29,0	27,3	26,2	24,0	20,3	29,3	30,2
T roca °C	26,7	25,9	30,7	30,7	21,9	24,1	23,5	21,1	20,2	19,5	24,3	28,5
Presión At-	989,5	988,0	985,4	986,0	986,8	987,0	990,4	992,7	993,5	992,0	991,0	990,0

Figura 1. Comparativo de los valores de temperatura del aire, temperatura del suelo, temperatura de las rocas y presión barométrica tomados en la quebrada San Ildefonso a una altura de 192 msnm durante los meses de enero a diciembre del año 2018.



Se evidencio que los valores de ascenso y descenso del nivel freático en el lecho de la quebrada oscilan en la mañana y tarde entre los 3,90 m (31 de enero 2019) hasta los 0,20 m (18 julio 2019), concordante con la temperatura ambiental que registra sus más altos niveles en verano contrario a los valores de la presión barométrica que descienden significativamente (Tabla 3) para valores correspondientes al año 2019.

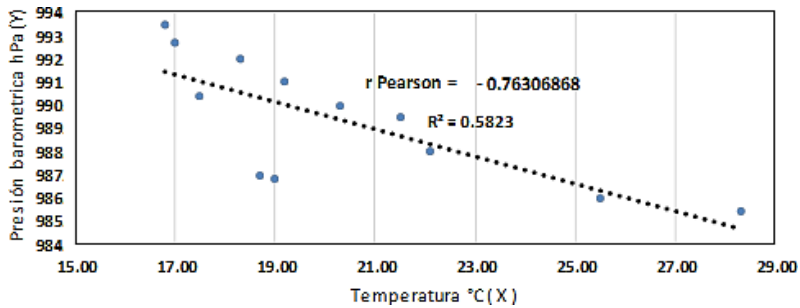
Coincidimos por lo expuesto por Ayllon (2013) que "La fuerza atmosférica varía según la temperatura, la altitud y la humedad. El aumento de temperatura corresponde a la dilatación del aire y, por tanto, una disminución de presión entre las moléculas del aire y, viceversa: un

descenso de temperatura produce una contracción del aire, y en consecuencia un aumento de la presión". Para establecer el grado de relación o índice de asociación lineal de las variables estudiadas: temperatura del aire y presión barométrica se ha aplicado el coeficiente de correlación de Pearson a los valores obtenidos (Tabla 2 y Figura 2).

Tabla 2. Temperatura del aire (X) y presión barométrica (y) tomada en la quebrada San Ildefonso 2018

Meses	Temp. Aire °C (X)	Presión barom. hPa (y)
1	21,50	989,50
2	22,10	988,00
3	28,30	985,40
4	25,50	986,00
5	19,00	986,80
6	18,70	987,00
7	17,50	990,40
8	17,00	992,70
9	16,80	993,50
10	18,30	992,00
11	19,20	991,00
12	20,30	990,00

Figura 2. Relación de las variables del estudio y su tendencia



Los resultados procesados mediante la fórmula del cálculo del coeficiente de Pearson se obtuvo r: -0.763068 y un R^2 de 0.5823, lo que significa que el valor del coeficiente entre ambas es 76,3% de variación, pero en sentido inverso u opuesto considerándose dicha cifra una correlación negativa considerable (Hernández *et al.*, 2014). La relación de la presión atmosférica y el nivel de la napa freática ha sido estudiada por Raffo (1954) en Argentina, aseverando que cuando aumenta la presión atmosférica, el nivel de agua de los pozos disminuye y viceversa. Lo antes indicado ha sido corroborado en el presente estudio como se observa en la Tabla 3 y Figura 3 y 4, destacando las mayores fluctuaciones de la napa freática del pozo en la estación del verano. Al evaluar los niveles y valores ambientales a las 9:00 am la presión barométrica

reporto: 990,0 hPa, la temperatura del aire 36,5 °C, la temperatura del agua 30,0 °C y la del suelo 36,5 °C, el nivel freático había ascendido hasta alcanzar 0.30 m bajo la superficie del terreno. Al evaluar a las 04:15 p.m. se registró una presión barométrica de 984 hPa (diferencia de 6 hPa con respecto a la primera medición del día) el nivel freático había ascendido hasta alcanzar los 0,10 m bajo la superficie del terreno como se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3. Registro de la presión barométrica, temperatura del aire, temperatura del agua, temperatura del suelo y nivel de la napa freática en horas de la mañana (a.m.) y en horas de la tarde (p.m.) según fechas indicadas durante los meses de enero a julio 2019 en la quebrada de San Ildefonso

FECHA	Pres Atm (hPa) a.m.	Temp aire (°C) a.m.	Temp.agua (°C) a.m.	Temp. Suelo (°C) a.m.	Nivel napa (m) a.m.	Pres Atm (hPa) p.m.	Temp aire (°C) p.m.	Temp. Agua p.m.	Temp.Suel (°C) p.m.	Nivel napa p.m.	Diferen.nivel napa en metros a.m./p.m.
29-Ene-19	992.0	28.0	29.0	35.8	-6.10	988.60	31.0	29.0	36.5	-3.80	2.30
31-Ene-19	991.0	33.0	28.5	38.9	-9.00	989.90	28.0	26.9	29.1	-5.10	3.90
12-Feb-19	991.0	28.0	31.0	33.0	-5.10	988.30	33.8	31.0	37.5	-2.60	2.50
13-Mar-19	990.0	36.0	28.0	37.4	-6.50	987.00	37.4	29.0	38.5	-3.50	3.00
14-Mar-19	990.0	36.5	30.0	37.8	-0.30	984.00	37.4	30.5	38.4	-0.10	0.20
15-Abr-19	993.2	25.0	28.0	29.0	-4.50	988.10	27.7	27.4	28.0	-3.20	1.30
16-May-19	993.2	20.0	27.0	25.0	-4.10	989.20	23.0	26.0	27.0	-3.00	1.10
13-Jun-19	992.5	23.0	26.0	26.0	-3.80	984.00	24.0	25.0	26.8	-2.50	1.30
18-Jul-19	992.7	17.5	28.4	19.3	-3.57	988.00	15.4	24.0	16.6	-3.37	0.20

Figura 3. Valores de la presión barométrica y niveles de la napa freática en el área de estudio registrados en horas de la mañana (09:00 – 11:00 horas).

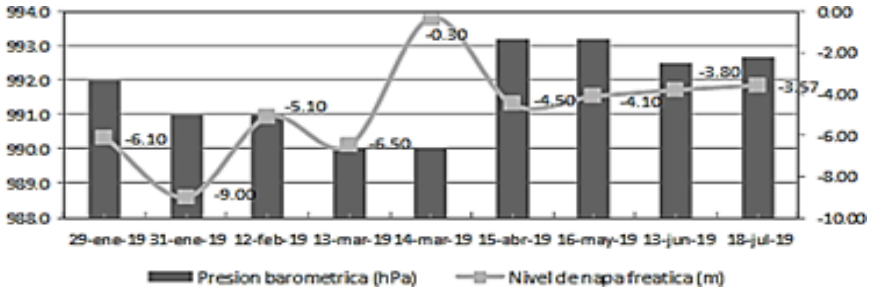
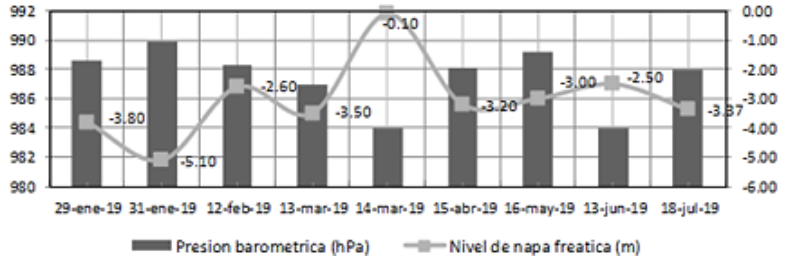
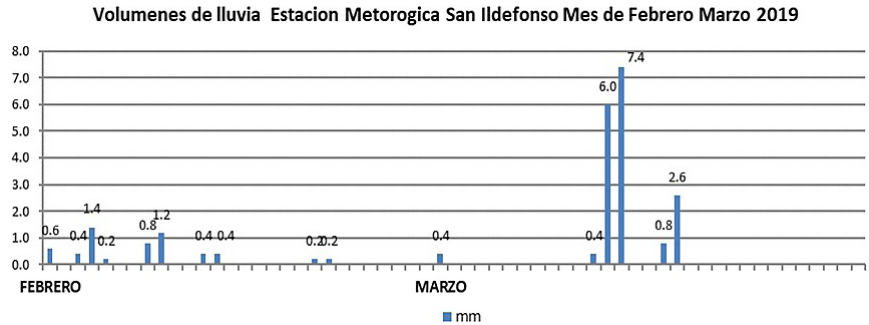


Figura 4. Valores de la presión barométrica y niveles de la napa freática en el área de estudio registrados en horas de la tarde. (15:00 – 17:00 horas).



El sustantivo incremento del nivel freático registrado el día 14 de marzo 2019 estaría relacionado a la lluvia de 11 mm en las primeras horas del día (Figura 5) y que como asevera Fuentes (2012): "Las aguas superficiales y las aguas subterráneas están muy relacionadas, pues es frecuente que el agua subterránea aflore en fuentes y manantiales para seguir un recorrido superficial, mientras que en otros casos el agua superficial se infiltra pasando a formar parte del agua subterránea (…). Las Aguas superficiales se infiltran en el terreno por los poros y grietas del suelo hasta llegar a la profundidad donde todos los huecos están llenos de agua, formando una franja capilar de mayor o menor espesor esta zona es la denominada zona de saturación o capa freática, su límite superior se llama superficie de saturación o superficie freática.

Figura 5. Niveles de lluvia registrada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) durante los meses de Febrero y Marzo 2019. Fuente: Estación Pluviométrica. ANA-Quebrada San Ildefonso 2019.



El agua de la zona de saturación asciende por capilaridad por los pequeños intersticios del terreno según su naturaleza puede elevarse uno, dos o tres metros por encima de la superficie de saturación". La información procesada evidencia que durante los meses de enero a marzo (verano) la presión barométrica en el área de estudio tuvo un promedio de fluctuación de 2.4 hPa; sin embargo, el nivel de ascenso /descenso del agua freática alcanzo la media de 2,93 m. Contrario a ello los meses de abril a julio (otoño /invierno) la variación de la presión barométrica entre la mañana y la tarde promedio los 5,6 hPa y una fluctuación de la napa freática no mayor de 1,00 m.

La información obtenida en la quebrada de San Ildefonso indicaría que cuando los valores de la temperatura ambiental se incrementan en el verano los valores de la presión atmosférica decrecen. Podemos entender que además de la lluvia que generan flujos de agua super-

ficial que precipita sobre el relieve de la quebrada de San Ildefonso en eventos climáticos pluviales extremos como es el caso de El Niño Costero, habría que considerar el ascenso del nivel de la napa freática en volúmenes significativos por efecto de la disminución de la presión atmosférica externa. Durante el evento El Niño Costero 2017 la precipitación pluvial más intensa registrada por las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) ubicadas en la provincia Trujillo fue el día 14 de marzo 2017 con 25.0 mm (EMA Huacas de Moche) generando dicha precipitación el día 15 de marzo el desembalse del dique construido para esas eventualidades en la quebrada de San Ildefonso; este desembalse impacto los centros urbanos: El Porvenir, Florencia de Mora, Trujillo y Víctor Larco. Cuatro días después el 19 de marzo con una precipitación de solo 6.2 mm registrado por la EMA Proyecto Huacas de Moche y de 3.6 mm por la EMA Agroindustrial Laredo, el caudal procedente de la quebrada San Ildefonso alcanzo el récord pico de 39.9 m^3/s Proyecta Consultoría (2018b). Consideramos que por las condiciones ambientales presentes (baja gradiente de la presión atmosférica e incremento de la temperatura) las copiosas precipitaciones pluviales en el evento climático extremo aunado a la rugosidad del terreno y la naturaleza del sedimento de la microcuenca constituido por gravas, arena gruesa, limos y arcillas de pobre consolidación Medina *et al.* (2017) típico de un acuífero poroso, el agua se habría infiltrado rápidamente hasta incrementar el manto freático el que habría ascendido alcanzado el lecho del cauce de la quebrada, aumentando el volumen de escorrentía pluvial . El efecto cíclico de ascenso y descenso de la presión ambiental se denominado "marea barométrica" característica importante en la circulación de la atmosfera media y alta observándose de ella una variación diurna y semidiurna, así como en transcurso del año con el cambio de las estaciones siendo muy marcadas en el verano y en invierno. Igualmente, estas mareas atmosféricas pueden sufrir modificaciones de hasta 50 hPa como consecuencia de los sistemas del tiempo" (Possia *et al.*, 2015).

Conclusiones

La temperatura del aire tiende a ser opuesta a los valores de la presión barométrica sobre el cauce de la quebrada San Ildefonso, factores que tienen influencia directa sobre la fluctuación de la napa freática. La información procesada evidencia que durante los meses de enero a marzo (verano en el hemisferio sur) la presión barométrica en el área de

estudio registro un promedio de fluctuación de 2,4 hPa; sin embargo, el nivel de ascenso /descenso del agua freática alcanzo la media de 2.93 m. Un episodio de lluvia de 11 mm suscitado el 14 de marzo 2019 evidencio el ascenso del nivel de la napa freática hasta ubicarse a 0.10 m del nivel del terreno. Contrario a ello los meses de abril a julio (otoño/invierno) la variación presión barométrica entre la mañana y la tarde promedio los 5.6 hPa y una fluctuación de la napa freática no mayor de 1.00 m. Consideramos que ante el cambio climático en desarrollo y el incremento en la frecuencia pluvial sobre las quebradas costeras que ponen en vulnerabilidad los centros urbanos asentados en su cauce, se recomienda ampliar estudios que permitan evaluar las variables temperatura y presión barométrica y su influencia en el ascenso de los niveles freáticos y de estos en el incremento de los caudales pluviales.

Referencias

APOYO CONSULTORÍA. 2018. Avance del Estudio de Pre-Inversión del Proyecto **"Control de Inundación en la Quebrada de San Idelfonso-Trujillo"**. Consorcio financista Backus, C. Pacasmayo, Minera Poderosa y Telefónica del Perú. Trujillo. 22 abril 2018

AYLLON, T. 2013. **Elementos de Meteorología y Climatología**. Tercera Edición. México. Editorial Trillas, 43-102 pp.

CENEPRED 2017. Informe de evaluación de Riesgos por Inundación Pluvial en el Área de Influencia El Porvenir, Provincia de Trujillo, La Libertad. Informe Técnico. Junio 2017. 20-26 pp.

ENFEN. 2017. Informe Técnico Extraordinario N.º001-2017/ENFEN El Niño Costero 2017. Resumen Ejecutivo Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño". Callao. Julio 2017. Perú. 1-12 pp.

FUENTES, Y. 2012. Aguas subterráneas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, secretaria general de Estructuras Agrarias. 2-13 pp.

HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, R.; BAPTISTA, P. 2014. **metodología de la Investigación**. Sexta edición. McGraw Hill. México DF. 300-308 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ. 2017. **Boletín Diario Oceanográfico Temperatura Superficial del Mar**. Vol.4, N.º 076. Lima, Perú. 2-3 pp.

INDECI-UNT .2002. Mapa de peligros de la ciudad de Trujillo Convenio de Ejecución – Instituto de Investigación em Desastres y Medio Ambiente. 82-86,153-168. pp.

MEDINA, A. 2017. Peligros geológicos y geohidrológicos detonados por El Niño Costero 2017 en la Región La Libertad – Cajamarca: Análisis geológico, geomorfológico y de peligros en la ciudad de Trujillo. Informe Técnico N.º A6791. INGEMMET. 28-42 pp.

POSSIA, N.; Cerne, M.; Campetella, C. 2015. **Análisis preliminar de la tendencia de la presión en la Argentina. Centro de Investigación del Mar y de la Atmosfera**-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales –Buenos Aires Argentina. 1 pp. Raffo, M. 1954. Variaciones de la napa freática en relación con la precipitación, la presión atmosférica y la temperatura. Buenos Aires –Argentina. 99-103 pp.

PROYECTA CONSULTORÍA .2018b. **Estudio Hidrológico de la Cuenca de San Idelfonso,** Lima, Junio 2018. 14-23 pp.

SENAMHI. 2014. **El Fenómeno El Niño en el Perú.** Ministerio del Ambiente –MINAM – Lima Perú. 9-17 pp.

SENAMHI. 2016. Popularización de la Meteorología en la educación Básica Regular Secundaria. Guía para el docente. CLIMANDES /COSUDE. Lima Perú. 91-94 pp.

ZÚÑIGA, I.; CRESPO, E. 2016. **Meteorología y Climatología.** 2da. Edición. Editorial UNAD. Madrid. España. 68-78 pp.

Mudanças Climáticas capacitação técnica através de curso no EaD.

Flávia Renata Potrich Signor[1], Rodrigo Launikas Cupelli[2],Karina Zavilenski Custodio[3], Ana Paula Crendendio[4], Lhuan Junior Fereiro Pinto[5].
[1]Itaipu Parquetec /Itaipu Parquetec (flavia.signor@itaipuparquetec.org.br)
[2] Itaipu /Itaipu Binacional Mais que Energia (cupelli@itaipu.gov.br)
[3]Itaipu Parquetec /Itaipu Parquetec (karina.custodio@itaipuparquetec.org.br)
[4]Itaipu Parquetec /Itaipu Parquetec (ana.credendio@itaipuparquetec.org.br)
[5]Itaipu Parquetec /Itaipu Parquetec (lhuan.pinto@itaipuparquetec.org.br)

Resumo: A educação a distância (EAD) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para democratizar o acesso ao conhecimento, especialmente em temas cruciais como as mudanças climáticas. Nesse sentido, a Escola Internacional para Sustentabilidade um convenio firmado com a Itaipu Parquetec e Itaipu Binacional lançou um curso gratuito de **Mudanças Climáticas – "A Emergência dos Nossos Tempos"**, com o objetivo de disseminar informações sobre a crise climática e incentivar a mobilização cidadã para ações sustentáveis. O curso aborda o histórico das mudanças climáticas, cenários e tendências futuras, governança climática e mobilização cidadã, promovendo conhecimento e engajamento prático. O curso foi ofertado no formato EAD, pela plataforma Moodle, garantindo flexibilidade de acesso e autonomia para os participantes. No ano de 2024 foram ofertadas quatro turmas de 40 horas totalizando 345 cursistas. Através da educação como instrumento transformador, ao mesmo tempo em que ampliam a sensibilização sobre as mudanças climáticas e incentivam ações efetivas. A iniciativa sublinha a importância de intensificar esforços na mobilização social e na construção de uma cidadania ativa para enfrentar os desafios climáticos e promover um futuro mais justo e sustentável.

Palavras-chave: Resiliência Climática. Justiça climática. Mobilização social.

Climate changes technical qualification (capacitation) through a distance education class

Abstract: Distance education (DE) has been shown as an efficient tool to democratize access to knowledge, especially in crucial areas such as climate change. In that sense, the International School for Sustainability has launched a free course called **Climate Change – "Our time's Emergency"**, with the aim of disseminating information about the climate crisis, as well incentivize citizen's mobilization for sustainable actions. The course addresses the history of climate changes, scenarios and future tendencies, climate governance and citizen's mobilization, promoting knowledge and practical engagement. The course was offered in the distance education model, using the Moodle platform, which grants flexibility and autonomy for the participants. Four classes were

offered in 2024, with a 40-hour duration each, totalizing 345 students. Through education as a transformative instrument, at the same time which amplifies sensibilization about climate change and incentivizes effective actions. The initiative underlines the importance of intensifying efforts in social mobilization and the building of an active citizenship to confront climate challenges and promote a fairer and more sustainable future.

Key words: Climate Resilience. Climate Justice. Social Mobilization.

Introdução

O formato educação a distância (EaD) contribuem para a democratização do acesso ao conhecimento, ampliando os espaços educacionais e diversificando o processo de aprendizagem (Karpinski et al 2017). A modalidade EaD, pode ser uma opção educacional de acesso ao ensino com prioritários das políticas educacionais brasileiras desde que seja feita com a mesma qualidade e precisão acadêmica sendo uma forma de levar a informação e o conhecimento com curso destinados a jovens e adultos.

A educação EaD não apenas supera barreiras geográficas, mas também promove a flexibilidade de aprendizado, permitindo que indivíduos com diferentes realidades e horários possam participar de processos formativos. Moore e Kearsley (2012) destacam que a EaD proporciona autonomia ao estudante, além de fomentar o desenvolvimento de habilidades críticas e a troca de conhecimentos em ambientes virtuais.

Estamos passando por um momento de crescentes desafios ambientais, a educação sobre mudanças climáticas emerge como um pilar essencial para a formação de uma sociedade informada e engajada. Conforme relatado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), as mudanças climáticas representam uma das maiores ameaças do século XXI, demandando ações urgentes e transformadoras em nível global. A educação, nesse contexto, desempenha um papel estratégico ao capacitar indivíduos para compreender os impactos das mudanças climáticas, interpretar dados científicos e adotar práticas sustentáveis em suas comunidades.

Com essa visão, a Escola Internacional para Sustentabilidade um convenio firmado com a Itaipu Parquetec e Itaipu Binacional, lançou um curso gratuito de “Mudanças Climáticas – A Emergência dos Nossos Tempos” foi idealizado para atender a uma necessidade crescente de capacitação sobre os impactos e as soluções relacionadas às mudanças

climáticas. O curso busca não apenas transmitir conhecimento, mas também inspirar ações concretas, mobilizando cidadãos a se tornarem agentes de transformação. O objetivo e disseminar informações sobre a crise climática e incentivar a mobilização cidadã para ações sustentáveis. Ao abordar um tema de importância crítica para o futuro do planeta, o curso busca contribuir para o fortalecimento da consciência ambiental e da mobilização social, elementos indispensáveis para a construção de um futuro mais sustentável.

Metodologia do curso

O curso Mudanças Climáticas – A emergência dos nossos tempos, é estruturado em 05 módulos autoinstrucionais sendo distribuídos no seguinte formato conforme a figura 1: No módulo I o cursista tem acesso as informações e orientações iniciais do curso; O módulo II aborda o histórico das mudanças climáticas, destacando os principais eventos e marcos na ciência climática; o Módulo III foca nos cenários e tendências das mudanças climáticas, com previsões científicas para as próximas décadas; o Módulo IV explora a governança global e local em torno do tema; e o Módulo V promove a mobilização cidadã, trazendo exemplos práticos de ações transformadoras.

A metodologia do curso combina na abordagem teórica e prática, promovendo uma compreensão holística do tema e incentivando o engajamento ativo dos participantes.

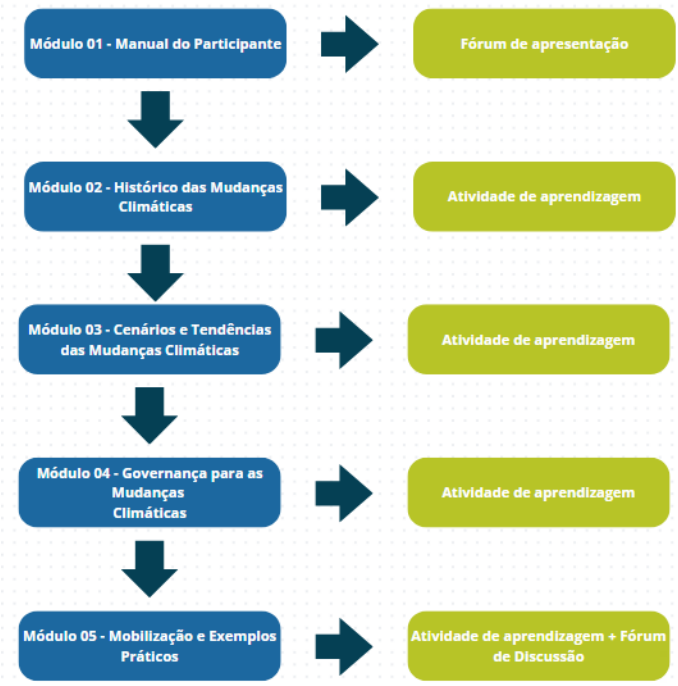
Ao longo do curso o cursista tem acesso aos materiais didáticos, aprofundando os conteúdos e temas do curso, as atividades de aprendizagem, vídeo aulas com introdução dos assuntos além da pasta de materiais complementares.

O curso tem uma carga horaria de 40 horas disponível para a realização das atividades de aprendizagem por 45 dias. Após finalizar todas as atividades e ter alcançado a nota maior ou igual a 70 é imitido um certificado de comprovação de conclusão das atividades.

Para o processo de inscrição, foi realizado um evento de lançamento do curso no Itaipu Parquetec em formato híbrido e contou com a participação simultânea de mais de 380 pessoas. Após o evento, os links de inscrição foram disponibilizados ao público externo e a núcleos específicos de formadores. Apesar do limite de 60 vagas por turma, a

alta adesão resultou em um número de inscritos superior ao previsto, ocasionando turmas com quantidades variadas de participantes.

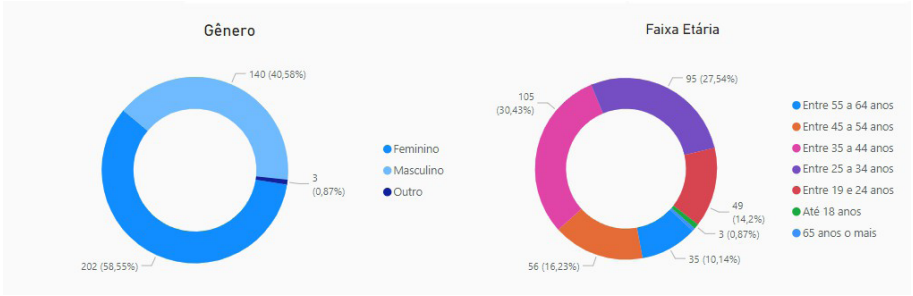
Figura 1 – Organização dos módulos no curso



Fonte: De autoria própria (2024)

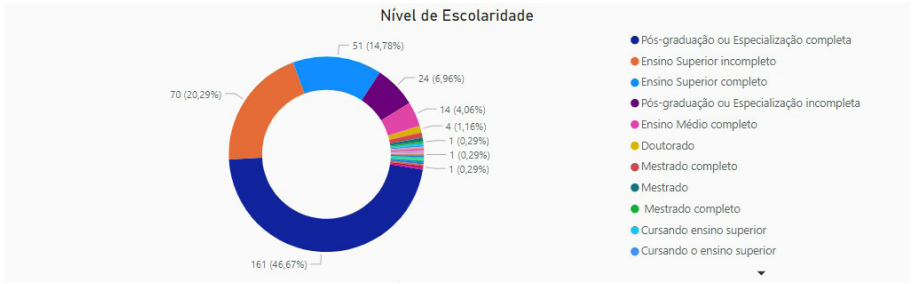
Foram abertas quatro turmas para públicos direcionados, totalizando 345 inscritos. Entre os participantes, 58,55% (n=202) pertenciam ao gênero masculino, sendo a faixa etária predominante entre 35 e 44 anos, 30,43%(n=105) conforme demostrando na figura 2. Na figura 3 podemos observar que a maior parte dos cursistas, 46,67%(n=161) possui pós-graduação ou especialização completa. Quanto à formação acadêmica, destacaram-se 94 inscritos de ciências sociais, 54 de ciências biológicas e 49 de engenharias. Dos participantes, 31,8% (n=110) informaram ter conhecido o curso por meio de amigos.

Figura 2 – Perfil de gênero e faixa etária do curso.



Fonte: De autoria própria (2024)

Figura 3 – Nível de escolaridade.



Fonte: De autoria própria (2024)

Ao todo o curso contou com representantes de 19 estados brasileiros mais o Distrito Federal, tendo um alcance relevante para a disseminação do tema e sensibilização dos participantes demostrado na figura 4. O estado com o maior número de inscritos foi o estado do Paraná com 57,9% (200) dos inscritos.

Figura 4 – Distribuição dos cursistas nos estados brasileiros



Fonte: De autoria própria (2024)

Resultados das turmas

A separação física entre alunos e professores conta com o apoio que é realizado pelos tutores auxiliando aos cursistas no ambiente virtual oferecendo autonomia para desenvolver de forma independente e flexível as suas atividades. Na tabela 01 é apresentado a distribuição por turma bem como os dados de aprovados, reprovados, desistentes, nota média da turma e visualização no AVA para cada uma delas.

Tabela 1 – Distribuição dos resultados distribuído por turma

Turmas	Inscritos	Aprovados %	Reprovados %	Desistentes %	Nota Média	Visualização no AVA
1	97	41	5	54	87,67	3.095
2	88	41	15	44	75,14	2.664
3	95	25	11	64	71,21	1.729
4	66	27	11	62	71,60	1.512

De acordo com os dados apresentado na tabela 1 podemos observar que as a turma 1 e 2 tiveram um maior número de aprovados no curso sendo 41% e as melhores notas de média final das turmas, quando comparados a turma 3 com 25%, e turma 4 com 27%, o que evidência que as turmas que tiveram uma maior nota acessaram mais o ambiente virtual moodle conforme mostrado na tabela 1. O número de visualizações corresponde a frequência de acesso aos materiais disponíveis como e-books, materiais complementares e videoaulas. Essa relação evidencia que a turma que teve maior interação com os materiais disponíveis alcançou melhores resultados e um maior número de aprovados no curso.

A aprendizagem é um processo dinâmico de construção de conceitos e conhecimentos, em que a interação com os conteúdos e outros aprendizes é essencial para a aquisição efetiva do saber. (Brusilovsky, P., & Millán, E. 2007).

Podemos notar que a taxa de reprovados foi de 5% na turma 1, 15% na turma 2, 11% na turma 3 e 4. Para obter o certificado, é necessário realizar todas as atividades e obter nota mínima de 70. A turma que teve maior acesso ao ambiente virtual teve uma menor reprovação isso mostra o comprometimento na realização das atividades.

"A educação exerce um papel essencial, pois aumenta a conscientização, desenvolve capacidades, como reconhecido pela Agenda 2030 das Nações Unidas, colocando a educação no centro do desenvolvimento sustentável." O conhecimento é importante, especialmente quando falamos de um assunto tão crítico como as mudanças climáticas, é de extrema importância promover a sensibilização e as ações necessárias para enfrentar esses desafios globais.

Percebemos que tivemos um grande índice de desistentes, o que não está somente relacionado a cursos EaD, conforme relatado por Silva (2023), que a evasão é uma realidade da educação seja ela no presencial ou a distância.

Durante todo o período do curso, para mitigar a evasão, mensagens eram enviadas através do chat, uma ferramenta de comunicação com os alunos, para esclarecer dúvidas. Além disso, semanalmente era elaborado um relatório da turma que quantificava o acesso e o desempenho dos cursistas. Com base nesses resultados, eram examinadas possíveis estratégias de comunicação para minimizar a evasão, incluindo o envio de mensagens personalizadas pelo chat e comunicação via o mural de avisos para manter os cursistas informados sobre datas do curso e informações.

No final do curso aplicamos a pesquisa de satisfação uma ferramenta para avaliação e aprimoramento do curso, realizada de forma anônima e não obrigatória. O número de respostas na pesquisa por turma foi de 32, 36, 19 e 16 participações e observamos na tabela 2 que as turmas avaliaram o curso como o avançado 34, 36, 26 e 37%, intermediário 53, 44, 58 e 38% e básico 13, 20, 16, 25%. Quando perguntados se "Antes do curso, você tinha conhecimento suficiente sobre o conteúdo abordado?" Mais de 50% responderam sim, mas teve oportunidade de conhecer novos assuntos. A última pergunta foi para medir a satisfação no curso, verificamos que a maioria classificou como satisfeito e muito satisfeito.

Tabela 2 – Pesquisa de Satisfação.

Como você avalia o conteúdo do curso?			
Turma	**Básico %**	**Intermediário %**	**Avançado %**
1	13	53	34
2	20	44	36

3	16	58	26
4	25	38	37

Antes do curso, você tinha conhecimento suficiente sobre o conteúdo abordado?

Turma	Sim, mas teve oportunidade de conhecer novos assuntos. %	Sim, já conhecia sobre os temas apresentados. %	Não, tive acesso aos temas pela primeira vez. %
1	75	25	0
2	72	11	17
3	63	21	16
4	94	6	0

De 01 a 05, onde 01 é muito insatisfeito e 05 muito satisfeito, qual a sua satisfação com a metodologia do curso?

Turma	Muito insatisfeito	Pouco Insatisfeito	Neutro	Satisfeito	Muito Satisfeito
1	1	0	1	9	21
2	0	1	4	10	21
3	0	0	1	6	12
4	0	0	1	5	10

O curso sobre mudanças climáticas demostra ser de extrema relevância, evidenciando a necessidade de promover a disseminação do conhecimento científico para ampliar o acesso às informações relacionadas ao tema. Essa democratização do saber é fundamental para fomentar ações coletivas voltadas à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, a relevância, dos tópicos abordados no curso reflete o interesse do público no tema, destacando a aceitação positiva da metodologia utilizada, o que reforça eficácia do formato adotado para engajar e capacitar os participantes.

Conclusão

Podemos concluir que o curso sobre mudanças climáticas é de extrema importância e relevância atualmente. Para enfrentarmos os desafios impostos por essas mudanças, é essencial adquirir conhecimento por meio da educação. Nesse contexto, os cursos na modalidade EaD (Educação a Distância) surgem como excelentes opções para disseminar informações de qualidade a um público amplo, mantendo elevados padrões de ensino.

Referências

BRUSILOVSKY, P.; MILLÁN, E. (2007). User Modeling 2.0: The Next Generation of User Models for Adaptive Learning Environments. In **Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education.**

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Disponível em: https://www.ipcc.ch. Acesso: 23 jan. 2025.

KARPINSKI, Josiani Aparecida *et al.* Fatores críticos para o sucesso de um curso em EAD: a percepção dos acadêmicos. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 22, p. 440-457, 2017.

MOORE, M. G., KEARSLEY, G. (2012). **Distance Education: A Systems View of Online Learning.** 3ª edição. Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning. 2012.

Nações Unidas. Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://sdgs.un.org. Acesso: 27 jan. 2025.

SILVA, Fernando Salvino da. **Fatores motivadores da evasão no ensino a distância: um estudo de caso para uma IES privada do Recife/PE**. 2023. 86 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão em Educação a Distância) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Produtividade de Poços Tubulares Caracterizados por duas Entradas de Água, Localizados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) – RS

Aline Saupe Abreu[1], Pedro Antonio Roehe Reginato[2], Tiago de Vargas[2], Franciele Schwanck Carlos[2], Taison Anderson Bortolin[3]
[1]PÓS-DOC – FAPERGS – IPH/UFRGS alsaupe@gmail.com;
[2]DHH – IPH/UFRGS pedro.reginato@ufrgs.br, tiago.devargas@ufrgs.br, schwanck.carlos@ufrgs.br;
[3]FEPAM, tabortol@gmail.com.

Resumo: Por se tratar de um aquífero amplamente explorado pelos municípios localizados na região nordeste do Estado, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), vem sendo objeto de estudo devido à sua grande importância social e econômica. Em virtude de suas características anisotrópicas e heterogêneas, diferenças dos parâmetros hidrogeológicos e de produtividades dos poços podem ser observadas em pequenas distâncias no SASG. Muitas dessas diferenças têm relação com a quantidade e profundidade de ocorrência de entradas de água (EA), que são interceptadas quando da perfuração de poços tubulares. Desta forma, com o objetivo de analisar o comportamento das EAs no SASG o presente trabalho visou identificar o comportamento das vazões associadas as entradas de água e suas respectivas profundidades nos poços tubulares que apresentam 2 (duas) EA. Por meio dos resultados preliminares obtidos foi possível verificar que há relação entre as profundidades e as vazões de EA entre segmentos distintos dos poços observados. Em síntese, podemos concluir que, somente através da análise da influência da profundidade nas vazões fornecidas pela primeira e segunda EAs, é que se tornou viável a identificação, mesmo que não generalizada, do processo de produção desses poços. Por fim, a compreensão das especificidades do SASG, por meio das EAs, também pode ser considerada como uma boa ferramenta de gestão das águas subterrâneas do SASG.

Palavras-chave: Vazões de entrada de água; Profundidade das Entradas de Água; Aquífero Fraturado.

Productivity of Tubular Wells Characterized by Dwo Water Inflows, located in the Serra Geral Aquifer System (SASG) – RS

Abstract: As it is an aquifer widely explored by the municipalities located in the northeast region of the state, the Serra Geral Aquifer System (SGAS) has been the object of study due to its great social and economic importance. Due

to their anisotropic and heterogeneous characteristics, large variations in water levels, differences in hydrogeological parameters and well productivity can be observed over short distances in the SGAS. Based on this, the productivity of local tubular wells becomes extremely linked to the water inflows (WI), their depths, details and water flow rates that characterize them. Thus, with the objective of analyzing the behavior of the WIs in the SGAS, the present work aimed to identify the behavior of the discharge associated with the water inflow and their respective depths in the tubular wells that present 2 (two) WIs. Through the preliminary results obtained, it was possible to verify that there is a relationship between the depths and the water flow rates between distinct segments of the observed wells. However, a generation of the behaviors observed in the tubular wells with 2 WIs was not confirmed. In summary, we can conclude that only by analyzing the influence of depth on water flow rates provided by the first and second WIs has it become possible to identify, even if not generalized, the production process of these wells, through adjustment equations established between groups of wells with similar behavior. Finally, understanding the specificities of the SGAS. Through WIs, can also be considered a good tool for managing SGAS groundwater.

Key words: Water Flow Rates, Water Inflow Depths; Fractured Aquifer.

Introdução

Grande parte dos municípios localizados na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul são abastecidos quase que exclusivamente pelas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Devido sua grande importância social e econômica e por se tratar de um aquífero fraturado, anisotrópico, condicionado a vazões médias inferiores a 10,0 m³/h e capacidades especificas baixas entre 0,1 e 1,3 m³/h/m, torna-se de suma importância a compreensão de sua produtividade, favorecendo assim, uma exploração sustentável de seus recursos naturais (MACHADO e FREITAS, 2005; BORTOLIN, 2014; REGINATO *et al.*, 2015; BORTOLIN, 2018; SOUZA, 2022).

De acordo com Nanni (2008), os níveis de água no SASG expressam grandes variações em pequenas distâncias horizontais, possuindo dependência com a quantidade e profundidade das entradas de água (EA). Reginato e Strieder (2004) observaram em seus estudos que, apesar da profundidade média dos poços produtivos do SASG serem de 110m, há ainda poços de considerável produção de água também em profundidades maiores, de 150,0 ou até 200,0 m. Viero *et al.* (2021) indicam que, para profundidades superiores a 100 m, o número de entradas de água torna-se bastante reduzido, de 10 a 20%.

Em relação ao número de EA, Reginato e Strieder (2004) afirmam que a ocorrência de poços tubulares com 1EA; 2EA, 3EA e 4EA corres-

ponderiam a 43,5%; 39,1%; 14,5% e 2,9% dos poços avaliados, sendo o número de EA dependentes das condições estruturais existentes das rochas (fraturas, zonas de fraturas, estruturas primárias de resfriamento, contatos entre derrames), nos locais onde foram perfurados os poços. Para Mancuso e Santos (2023) poços que interceptam mais de uma zona de fratura (EA), apresentariam maior produtividade, devido a ocorrência de maiores capacidades especificas de até 19,8 m³/h/m.

Abreu *et al.* (2025) ao avaliarem a influência da quantidade total de EA nas vazões de entrada de água (QEA) observadas em 158 poços tubulares pertencentes ao SASG, afirmam que a presença de um número maior de EA não reflete necessariamente na ocorrência de QEA superiores a 20,0 m³/h, tendo sido as maiores QEA observadas em poços tubulares com apenas 1 ou 2 EA. Poços com a existência de 4 e 5 EA descreveram um comportamento semelhante entre si, apresentando vazões que variaram, em sua maioria, de 0,19 a 20,0 m³/h e de 2,0 a 20,0 m³/h, respectivamente.

Quando analisadas as vazões de explotação, Viero *et al.* (2021) ressaltam que as diferenças de valores, de 0,6 e 86,0 m³/h, definidos através dos ensaios de bombeamento no SASG, são atreladas principalmente a região de análise, bem como ao ponto de locação dos poços. Afirmam ainda que, grande parte dos valores (80% e 91%) são inferiores a 20,0 m³/h com médias de 6,8 e 17,0 m³/h.

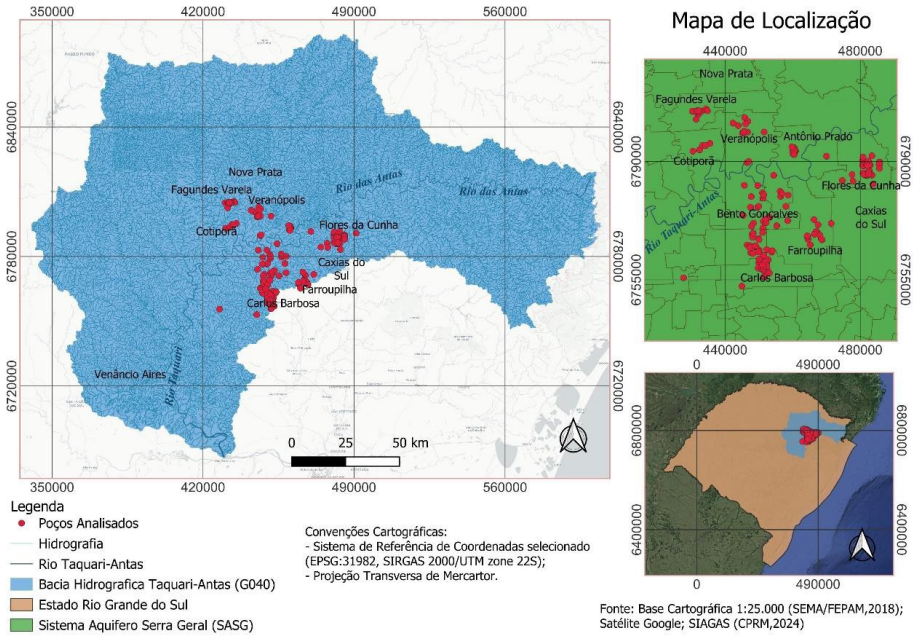
Para Sanferari *et al.* (2022), o armazenamento e circulação das águas subterrâneas no SASG, além de estarem fortemente relacionados aos contatos entre derrames vulcânicos, são também condicionados pelas estruturas (fraturas e zonas de fraturas mais abertas, que ocorrem mais comumente entre 50,0 e 150,0 m de profundidade. Os autores verificaram que vazões entre 1,0 e 10,0 m³/h ocorrem com maior frequência, sendo raras as vazões inferiores a 1,0 m³/h (3,0%). Em contrapartida, vazões superiores a 100,0 m³/h não foram observadas.

Considerando as diferentes pesquisas desenvolvidas na região do SASG, e visando contribuir para uma melhor compreensão da produtividade local do aquífero em questão, o presente artigo tem por objetivo identificar o comportamento de 53 poços tubulares, dos 374 poços avaliados, que apresentam vazões associadas a duas EA.

Materiais e Métodos

A área de estudo desta pesquisa, compreendida na região hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), está inserida entre os municípios de Bento Gonçalves, Carlos Barbosa, Cotiporã, Fagundes Varela, Farroupilha, Flores da Cunha, Garibaldi, Nova Pádua, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira e Veranópolis, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização dos poços tubulares avaliados.



Fonte: Abreu *et al*. (2025).

Inicialmente foram compiladas as informações referentes as entradas de água (EA), suas profundidades de ocorrência e vazões de contribuição de cada entrada (QEA), descritas nos boletins de perfuração, perfis geológicos e construtivos de 374 poços tubulares da região. Os dados de EA e suas respectivas características foram obtidos de poços perfurados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

A partir da verificação prévia dos dados existentes optou-se por avaliar nesse trabalho as informações referentes aos poços tubulares caracterizados por 2 (duas) EA, os quais correspondem grande parte da amostra de dados, cerca de 33,5 % dos poços com informações tanto de profundidade quanto de vazão das EAs.

Desta forma, considerando os dados dos poços tubulares com 2EA, foram analisadas as relações existentes entre as QEA e suas respectivas profundidades de ocorrência, de maneira a possibilitar uma melhor compreensão de como se desenvolve a produtividade local dos poços verificados.

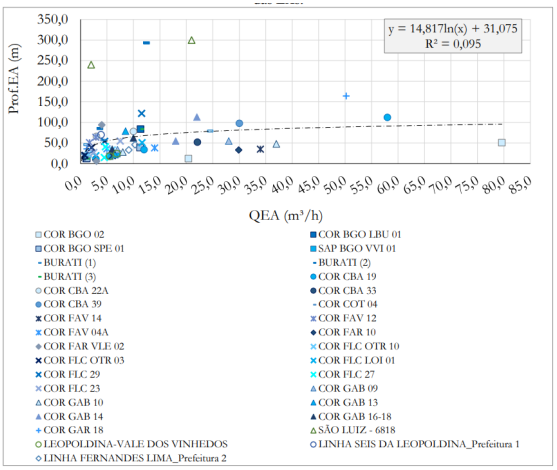
Resultados e Discussões

Dos poços tubulares avaliados no SASG, 53 unidades caracterizaram-se pela existência de 2EA ao longo de seus perfis litológicos, tendo sido verificados comportamentos distintos entre as relações estabelecidas das QEA e suas profundidades.

Conforme foi possível observar, 33 unid. (62,2%) dos poços de 2EA analisados descrevem um aumento das QEA à medida em que há acréscimo da profundidade, 18 unid. (33,9%) apresentaram um comportamento inverso, ou seja, diminuição das vazões com o aumento das profundidades de EA. Apenas 2 (dois) dos poços verificados (3,9%) demonstraram QEA semelhantes em ambas as entradas de água.

Ao analisarmos a Figura 2 foi possível identificar que, apesar do comportamento crescente das QEA em relação ao aumento da profundidade, grande parte das vazões estimadas foram inferiores aos 15,0 m³/h, tendo sido registradas em profundidades menores que os 75,0 m. QEAs superiores a esse limite, de 30,0 a 79,6 m³/h, também foram verificas em 11 (onze) desses poços, favorecendo uma maior dispersão dos dados apresentados.

Figura 2 – Poços tubulares com comportamento crescente das QEA em relação as profundidades das EAs.

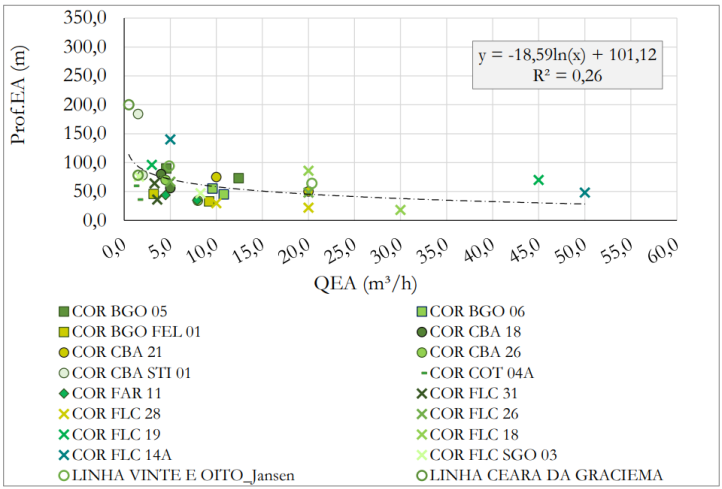


Os poços tubulares Burati (2) e São Luiz – 6818, ambos localizados no município de Bento Gonçalves, foram os únicos que descrevem a ocorrência de suas maiores QEA em profundidades superiores aos 250,0 m (Figura 2).

Diferentemente do expresso pela maioria dos poços tubulares avaliados anteriormente, as QEA estimadas apresentadas na Figura 3 descrevem uma redução entre os valores da primeira para a segunda EAs. Além disso, grande parte das QEA observadas foram inferiores aos 10,0 m³/h e, portanto, inferiores a maioria das QEA atribuídas aos poços analisados na Figura 2. Em relação as profundidades das EAs observadas nos poços tubulares da Figura 3 pode-se verificar que a maioria das QEA foram estimadas em profundidades inferiores aos 100,0m, estando ainda de acordo com o limite segundo Reginato (2003) e Abreu *et al.* (2024).

O comportamento decrescente das QEA e a redução dos limites representativos das vazões, de 15,0 para 10,0 m³/h, nos permite inferir que, as estruturas (fraturas, zonas de fraturas, contatos entre derrames, entre outras) existentes nas camadas mais profundas do SASG, para os poços representados na Figura 3, possivelmente são menores ou menos abertas, o que justificaria em parte a redução das QEA. Obviamente que essa afirmação somente poderá ser comprovada através da realização de filmagens e perfilagens das estruturas que estariam associadas as entradas de água.

Figura 3 – Poços tubulares com comportamento decrescente das QEA em relação as profundidades das EAs.



Por fim, podemos concluir que, apesar da existência das relações estabelecidas entre as QEA e suas respectivas profundidades, através de curvas de ajuste, os diferentes comportamentos verificados (crescente e decrescente das QEA) nos demonstram que a produtividade do SASG, quando atrelada aos poços de 2EA, não pode ser generalizada, somente prevista e condicionada aos poços tubulares observados.

Considerações Finais

Através da análise dos dados de entradas de água dos poços tubulares pertencentes ao SASG tornou-se evidente que mesmo existindo interação entre as vazões e suas respectivas profundidades de ocorrência, a anisotropia e heterogeneidade do aquífero se faz presente, condicionando o comportamento das 2EA a relações de baixa previsibilidade. Contudo, a caracterização das contribuições de água desses poços, mesmo que individualizadas, poderão servir de subsídio para um melhor consumo das águas subterrâneas do SASG.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, pelo financiamento do projeto (Termo de Outorga 23/2551-0001914-0 – Edital FAPERGS/CNPq 07/2022 – Programa de Apoio à Fixação de Jovens Doutores no Brasil), a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) pelas informações e apoio técnico fornecidos e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela infraestrutura.

Referências

ABREU, A. S.; REGINATO, P. A. R.; VARGAS, T. de; CARLOS, F. S.; BORTOLIN, T.A.; SALVADORETTI, P. (2025) Evaluation of the Relationship Between Water Inflow and Flow Rates in Tubular Wells of the Serra Geral Aquifer System in Northeast Rio Grande do Sul/Brazil**. Research Environmental Earth Sciences**. p. 1 – 18 (Submetido à publicação).

ABREU, A. S.; REGINATO, P. A. R.; VARGAS, T. de; CARLOS, F. S.; BORTOLIN, T.A. Avaliação das Entradas de Água e Vazões Associadas em Poços Tubulares que Captam Água do Sistema Aquífero Serra Geral na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: XXIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2024. **Anais**... São Paulo.

BORTOLIN, T. A. 2018. **Estudo da recarga de Sistema Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica Taquari-Antas**. Porto Alegre, 200p. Tese de Doutorado,

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BORTOLIN, T.A. Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral no Município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2014. 119 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa. 2005.

MANCUSO, M.A.; SANTOS, C.E. Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral, localizado no noroeste do RS. **Revista do Instituto de Geociências – SUP**. v.21, nº1, p. 71-88. 2021.

NANNI, A. S.(2008) **O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul:** origem e condicionamento geológico. 2008. 145 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

REGINATO, P. A. R.; LEÃO, M. I., BORTOLIN, T. A.; DUTRA, T. O.; Athayde, G. B. & Athayde, C. V. M. 2015. Circulação da Água Subterrânea nas Rochas Vulcânicas de Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, 15.Bento Gonçalves, 2015. **Anais**... Bento Gonçalves.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. (2004) Caracterização Hidrogeológica e Potencialidades dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2004, Cuiabá. Anais '...' SÃO PAULO: ABAS, 2004. v. 1.

REGINATO, P. A. R. **Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. 2003. 254 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

SOUZA, M. E. R, de. Variação do Nível de Água e Métodos de Recarga no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG): Estudo de uma bacia hidrográfica experimental localizada no município de Caxias do Sul, RS. 2022. 107 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIERO, A.P.; ROISENBERG, A; FREITAS, M.A., REGINATO, P.A.R. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: JELINECK, A.R., SOMMER, C.A. **Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2021. 504 p. https://doi.org/10.29327/537860.1-28.

Análise comparativa da degradação de diferentes azocorantes empregando o processo de eletrocoagulação/biocarvão

Luciano André Deitos Koslowski[1], Alexandre Tadeu Paulino[2]
[1]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil (CEAVI), Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada (CCT)/UDESC (luciano.koslowski@udesc.br)
[2] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada/ UDESC/CCT (alexandre.paulino@udesc.br)

Resumo: Os efluentes gerados na indústria têxtil, podem causar danos aos corpos receptores, representando um fator de risco sério à saúde, pela presença de substâncias potencialmente tóxicas. Neste contexto, na última década novos métodos de tratamento têm sido investigados surgindo com grande destaque a eletrocoagulação. O presente estudo apresenta como proposta avaliar o efeito comparativo de degradação de 4 tipos de pigmentos azocorantes em um efluente têxtil monosintético empregando o processo de eletrocoagulação/biocarvão combinado em um reator batelada. Os ensaios foram realizados em triplicata, empregando intensidade de corrente (0,50 A), tempo de eletrólise (1 h), distância de inter-eletrodo de 6 cm, concentração de eletrólito (NaCl, 2 g L^{-1}) e concentração em massa de pigmento de 0.10 g L^{-1}. A investigação das variáveis de estudo (concentração de eletrólito, distância inter-eletrodo e intensidade de corrente elétrica) apontam a remoção de cor dos pigmentos na seguinte ordem: 94,92% Pigmento Vermelho, 98,76% Pigmento Azul, 91,25% Pigmento Preto, 99,22% Amarelo. Os resultados evidenciam aplicação potencial para o tratamento de azocorantes pelo processo de eletrocoagulação/biocarvão.

Palavras-chave: eletrocoagulação, biocarvão, azocorante.

Comparative analysis of the degradation of different azo dyes using the electrocoagulation/biochar process

Abstract: Textile industry effluents can harm receiving water bodies, posing a serious health risk due to the presence of potentially toxic substances. In this context, electrocoagulation has emerged as a prominent treatment method among new technologies investigated over the past decade. This study aims to evaluate the comparative degradation effect of four azo dye pigments in a monosynthetic textile effluent using the electrocoagulation process in a batch reactor. The experiments were performed in triplicate under the following conditions: current intensity of 0.25 A, electrolysis time of 1 h, inter-electrode distance of 6 cm, electrolyte concentration (NaCl) of 2 g L-1, and pigment mass concentration of 0.10 g L-1. Investigation of the study variables (elec-

trolyte concentration, inter-electrode distance and electric current intensity) indicate the removal of color from the pigments in the following order: 94,92% Pigment Red, 91,25% Pigment Blue, 91,25% Pigment Black, 99,22% Yellow. The results show potential application for the treatment of azo dyes by the electrocoagulation process.

Key words: electrocoagulation, biochar, azo dye

Introdução

Apesar de sua importância para os países em desenvolvimento, a manufatura de têxteis é uma questão complexa em relação ao meio ambiente, uso da água e poluição resultante para os sistemas de recebimento de água de acordo com Rosa *et al.* (2019). A indústria têxtil é considerada como uma das principais fontes de contaminação ambiental e bem-estar público de todos os setores industriais. Estes efluentes são severamente poluidores devido aos compostos químicos orgânicos e inorgânicos complexos que são usados durante várias etapas do processamento têxtil. Os constituintes não utilizados de cada etapa são descartados como águas residuais, que possuem cor forte devido à presença de corantes residuais, alta matéria orgânica e inorgânica, turbidez, pH e produtos químicos tóxicos. A indústria têxtil é considerada uma das principais fontes de contaminação ambiental entre os setores industriais conforme Lach *et al.* (2022). Os corantes azóicos são compostos coloridos, insolúveis em água, sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Os corantes azoicos constituem a maior classe de corantes sintéticos, visto que apresentam características satisfatórias em termos de resistividade à luz e à umidade, além de promoverem tingimentos de alta fixação reportado por Chen *et al.* (2024). A resistência a vários tipos de tratamento, devido a dificuldade de mineralização e biopersistência em meio aquático constituem as principais características dos corantes azoicos, uma vez que os métodos convencionais não são considerados satisfatórios para o tratamento de seus efluentes conforme Periyasamy (2024). Destaca-se também, que em função das propriedades particulares de alguns corantes azo reativos, como por exemplo, seus baixos percentuais de fixação e exaustão, onde parte significativa do corante adicionado permanece na fase líquida durante o processo de tingimento, não sendo absorvido e fixado ao material têxtil de acordo com Belli *et al.* (2024). Nos últimos anos, tratamentos alternativos de águas residuais têm sido investigados em

relação a questões e aplicações que minimizem os impactos ambientais de acordo com Koslowski *et al.* (2025).

O processo de EC apresenta um conjunto operacional simplificado, mas bastante eficiente, não empregando produtos químicos, gera pouco lodo e apresenta custo bastante competitivo quando comparado com os tratamentos convencionais conforme Papadopoulos *et al.* (2019).

O processo de EC envolve três etapas, onde todas ocorrem *in situ*:

a. formação do coagulante pela oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício;
b. desestabilização dos contaminantes, suspensão das partículas e quebra de emulsões;
c. agregação das fases desestabilizadas para formar os flocos.

Do mesmo modo, a água também é eletrolisada em uma reação paralela, produzindo pequenas bolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo. As bolhas formadas permitem atrair as partículas floculadas e, por meio de flutuação natural, os poluentes floculados se deslocam por flotação até a superfície conforme Shokri e Fard, (2021). Os eletrodos utilizados para o processo de EC geralmente são de alumínio ou de ferro, devido ao baixo custo econômico e grande disponibilidade. A configuração desses eletrodos pode ser monopolar ou bipolar, como também pode ser utilizado um de cada tipo. O alumínio metálico é mais indicado que o ferro metálico no processo de EC, haja visto que os íons metálicos e hidróxidos produzidos pelos eletrodos de ferro são mais solúveis, sendo menos eficientes no processo de EC reportado por Vepsäläinen e Sillanpää (2020). A distância entre os eletrodos também pode ser considerado um fator importante no processo de EC, visto que o campo eletrostático sofre influência da distância entre o ânodo e o cátodo. Neste aspecto, o biocarvão (BC) tem sido utilizado em vários estudos devido a sua capacidade de sorção de contaminantes orgânicos e inorgânicos. O biocarvão é um material poroso rico em carbono produzido por meio de tratamento termoquímico (pirólise ou carbonização) de biomassa orgânica em ambientes na ausência ou limitada concentração de oxigênio. O biocarvão apresenta vantagens econômicas, pelo fato de permitir sua reutilização como um resíduo de biomassa, minimizando os impactos de sua disposição final exaustiva conforme Lopes e Astruc (2021). Devido a reutilização de materiais que seriam descartados, o

biocarvão apresenta um custo inferior ao carvão ativado. Assim, o biocarvão pode ser obtido por processos de pirólise de conversão à baixa temperatura (CBT) de uma biomassa. Sua aplicação como material adsorvente vem sendo amplamente estudada em função do seu poder de adsorção, uma vez que no processo de conversão da biomassa se busca obter materiais com melhores propriedades físico-químicas.

Neste sentido, pesquisas recentes demonstram a aplicação do biocarvão, como material adsorvente com propriedades que provocam impactos reduzido ao meio ambiente (*eco-friendly*), apresentando presença significativa de grupos funcionais e espécies de materiais inorgânicos, com estruturas micro e/ou meso-porosas e de elevada capacidade de adsorção, com ampla aplicação na remoção de contaminantes presentes nas águas residuais reportado por Liang *et al.* (2021).

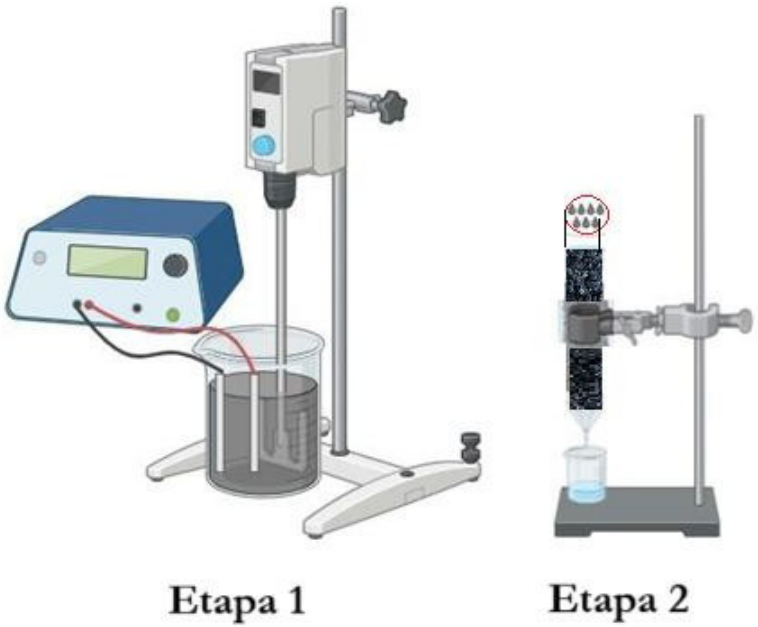
O biocarvão apresenta acentuada porosidade, extensa área superficial, capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes e adsorção de metais de acordo com Sanchez-Monedero *et al.* (2018). Neste sentido, o biocarvão constitui em um excelente material adsorvente para a remediação de metais possivelmente tóxicos e poluentes orgânicos e inorgânicos, em razão da sua estrutura porosa. Este estudo teve como objetivo investigar o efeito do tratamento EC/BC aplicado a efluentes sintéticos provenientes de pigmentos azo corantes. Por meio da análise físico-química da água residuária tratada e da degradação do azo corante por meio de análise via espectrofotométrica foi avaliada a eficiência do tratamento. Portanto, pode-se vislumbrar que este trabalho forneça uma abordagem futura para aplicação do biocarvão envolvendo sistemas de tratamento de águas residuária aplicando a eletrocoagulação.

Materiais e Métodos

O biocarvão utilizado no presente trabalho é proveniente de uma usina geradora de energia elétrica, com capacidade de 10 GW, a partir da combustão de uma fonte renovável de biomassa florestal a uma temperatura entre 900 °C a 1.000 °C, e com baixas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). O aparato experimental para o sistema combinado EC/BC do efluente sintético têxtil, foi realizado empregando uma fonte de corrente contínua de energia (LABO 2845 115 VCA, Brasil), com uma faixa de corrente de 0 a 5 A, e tensão ajustável de 0 a 20 V, com o auxílio de um sistema de agitação magnética (A célula eletroquímica foi submetida a um agitador magnético (MicroQuímica MQAMA 301)

a uma velocidade de agitação constante de 300 rpm para proporcionar homogeneidade da solução.), em um reator eletroquímico de borossilicato com capacidade de 2 L (Figura 1). No interior do reator foi instalado um sistema monopolar de eletrodos de alumínio como ânodo e cátodo, com as seguintes dimensões: 100 mm de comprimento, 40 mm de largura e 1 mm de espessura. Os eletrodos foram submersos a uma profundidade de 78 mm, fornecendo uma área superficial de contato de aproximadamente 31,2 mm^2. As estratégias foram definidas, empregando os seguintes valores operacionais: intensidade de corrente elétrica (ICE) de 0.50 A, distância inter-eletrodos (DIE) de 6 cm, concentração de pigmento azo corante de 0.10 g L^{-1}, concentração do eletrólito (NaCl) de 2 g L^{-1}. Os pigmentos utilizados foram os corantes reativos polifuncionais: amarelo ME4G 225, azul EXSF 300, preto B150 e vermelho XD-WF da empresa Colourtex Company. A coluna de vidro de borossilicato apresenta 2,5 cm de diâmetro e 30 cm de altura, sendo utilizado uma altura de 10 cm de coluna de biocarvão para o sistema de adsorção de compostos não degradados no processo de eletrocoagulação.

Figura 1 – Aparato experimental do processo combinado EC (Etapa 1) e BC (Etapa 2).



Fonte: do autor (2025)

O Quadro 1 abaixo indica os pigmentos azo corantes (n=1) identificados com o n° de CAS (Chemical Abstracts Service) empregados nos ensaios experimentais para degradação via sistema combinado EC/BC, realizados em triplicata.

Quadro 1 – Parâmetros do processo combinado EC/BC (n = 1)

Pigmento	CAS	Fórmula Molecular	Massa Molar
Amarelo ME4G 225	84000-63-5	C26H24ClN9Na2O12S3	832.1494
Azul Marinho EX-SF 300%	66557-45-7	C18H19ClN6O5	434.83366
Preto B150	241-164-5	$C_{13}H_{22}O$	194.31
Vermelho XD-WF	1421938-16-0	C17H19ClN4O4	378.81

Fonte: Colourtex (2021)

Os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com o procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). Os ensaios físico-químicos foram realizados por meio da determinação de pH via método eletrométrico (Hanna HI 3221) e turbidez via método nefelométrico (Hanna HI 93703). A degradação dos pigmentos azo corantes foram determinadas utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Spectroquant Prove 600) operando numa faixa de comprimento de onda de 200 nm a 800 nm.

Resultados e Discussão

Ensaios físico-químicos: Turbidez e pH

Os resultados dos ensaios físico-químicos da turbidez e pH com seu respectivo devio padrão encontram-se representadas na Tabela 1, conforme parâmetros operacionais adotados para os ensaios do sistema combinado EC/BC.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios físico-químicos do processo EC/BC combinado.

Pigmento Azo	Condição	pH	Turbidez
Amarelo ME4G 225	Efluente Sintético (ES)	5,96 ±0,03	1,0 ±0,11
Azul Marinho EX-SF 300	Efluente Sintético (ES)	5,45 ±0,05	1,2 ±0,17
Preto B150	Efluente Sintético (ES)	5,87 ±0,05	1,0 ±0,14
Vermelho XD-WF	Efluente Sintético (ES)	6,05 ±0,06	1,2 ±0,12

Amarelo ME4G 225	Tratamento EC	7,10 ±0,25	4,1 ±0,40
Azul Marinho EX-SF 300	Tratamento EC	6,10 ±0,33	3,2 ±0,27
Preto B150	Tratamento EC	6,00 ±0,24	3,0 ±0,21
Vermelho XD-WF	Tratamento EC	6.,3 ±0,30	2,7 ±0,19
Amarelo ME4G 225	Tratamento BC	7,25 ±0,10	2,0 ±0,17
Azul Marinho EX-SF 300	Tratamento BC	6,40 ±0,15	1,1 ±0,10
Preto B150	Tratamento BC	6,85 ±0,18	1,0 ±0.13
Vermelho XD-WF	Tratamento BC	6,75 ±0,16	1,3 ±0,20

Fonte: do autor (2025).

O Valor Máximo Permitido (VMP) para a realização do despejo de efluentes industriais é dado por meio de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A Resolução Conama nº 430/2011, estão descritas as condições do padrão de lançamento do efluente industrial, sendo o valor máximo permitido para o pH para efluentes industriais situa-se na faixa de 6,00 a 9,00 e para a turbidez valores inferiores a 100 UNT. Considerando os dados obtidos na tabela 1, todos os valores referentes à turbidez atendem a Resolução Conama 430/2011. Garcia-Segura *et al*. (2017), afirmam que dependendo da densidade dos flocos formados, a remoção dos poluentes pode ocorrer tanto por precipitação (formação de lodo), quanto por flotação (com a formação de gases e espuma). De forma análoga, a aplicação de uma ICE reduzida (0,50 A) no processo de eletrocoagulação promove a dissolução de íons metálicos que geram hidróxidos metálicos e a neutralização das cargas superficiais e, desestabilização das partículas coloidais, promovendo assim um pequeno aumento na turbidez. Em relação a utilização do sistema EC/BC, foi observada redução da turbidez em todos os experimentos comparativamente ao processo EC convencional. A filtração foi realizada passando a ARTG, em fluxo descendente, com vazão média de 4,37 mL min^{-1} para os filtros contendo BC. Os dados apresentados na Tabela 1 apontam que o tratamento combinado EC/BC apresenta um aumento do valor do pH comparativamente ao processo de EC individual e ao efluente sintético preparado, inclusive este encontra-se em faixa mais ácida não atendendo a legislação.

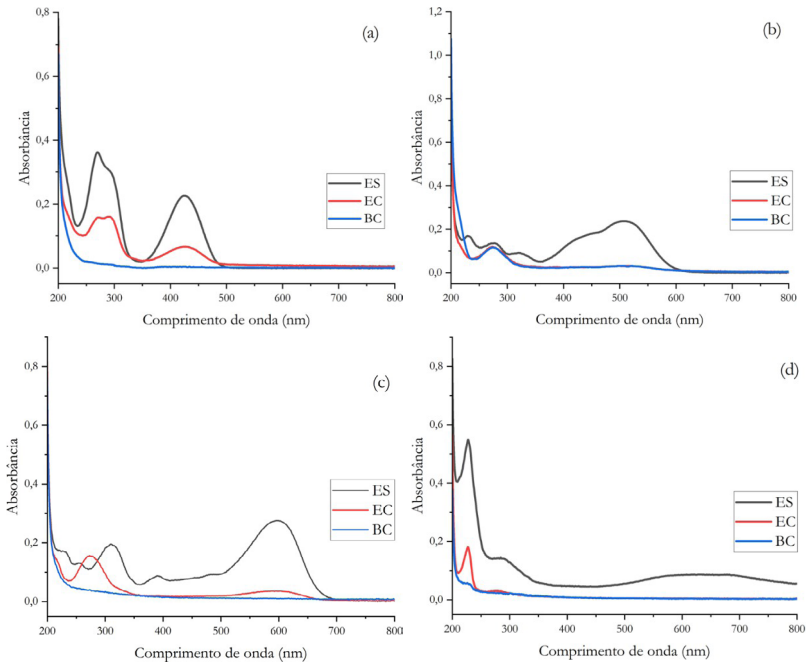
Com base nos dados apresentados na Tabela 1, para todos os experimentos foi observado um aumento do pH no tratamento combinado EC/BC comparativamente ao efluente sintético. Os eletrodos de Al libe-

ram íons trivalentes de Al^{3+} que são oxidados a $Al(OH)_3$, liberando seus íons de hidróxido (OH^-) no cátodo. A liberação e absorção desses íons de acordo com a natureza eletroquímica do efluente afetam o pH inicial da solução, além de, essas espécies de óxidos facilitam a sedimentação dos poluentes conforme Tahreen, Jami e Ali (2020). Esse aumento do pH pode ser atribuído a eletrólise da molécula de H_2O com a geração de íons OH^- no cátodo e a liberação dos gases de hidrogênio (H^+). Segundo Lach *et al.* (2022), o aumento no valor do pH em um efluente ácido acontece devido a liberação do gás CO_2, do borbulhamento do hidrogênio da formação de precipitados de outros ânions com o íon Al^{3+}.

Degradação do azo corante – Espectro UV-visível

A avaliação do comportamento de degradação dos azocorantes deste estudo foi avaliada por meio dos diferentes comprimentos de onda no espectro UV-visível, por meio de varredura espectral das amostras coletadas após 60 minutos de ensaio do processo combinado EC/BC conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Varredura espectral referente a degradação dos corantes no processo combinado EC/BC comparativamente ao efluente sintético (ES). (a) Amarelo ME4G 225; (b) Vermelho XD-WF; (c) Preto B150; (d) Azul Marinho EX-SF 300.



Fonte: do autor (2025)

A concentração de corante degradado foi determinada por meio da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 287 e 428 nm para o corante Amarelo ME4G 225 redução da absorbância de 0,797 do ES para 0,011 para o sistema combinado EC/BC (redução de 98,61% na cor do ES) e 0,514 (ES) para 0,04 nm (EC/BC (redução de cor de 99,22%); para o corante Vermelho XD-WF a absorbância foi determinada nas faixas de comprimento de onda de 224 nm (94,92% de redução), 288 nm (85,98% de redução); para o corante Preto B150 a absorbância foi determinada nas faixas de comprimento de onda de 311 nm (81,01% de redução), 598 nm (91,25% de redução); e para o corante Azul Marinho EX-SF 300 a absorbância foi determinada nas faixas de comprimento de onda de 196 nm (38,28% de redução), 231 nm (78,07% de redução) e 508 nm (98,76% de redução) A análise dos picos dos picos de absorbância indicam redução significativa de cor, indicando que o processo EC/BC combinado apresenta desempenho promissor com relação ao tratamento de águas residuárias proveniente da indústria têxtil. Em relação a baixa redução (38,28%) do corante Azul Marinho EX-SF 300 no comprimento de onda de 196 nm sugere-se que as moléculas do corante ainda são mantidas na solução após o tratamento. Portanto, sabe-se que os corantes azoicos utilizados no processo são caracterizados por ligações azo (N = N) e possuem grupos SO^{-3} e COO^{-}, apresentando alta solubilidade e não são facilmente adsorvidos conforme Núñez, *et al.* (2019). O estado das moléculas do corante em solução tem uma influência considerável na eficiência da remoção da cor por coagulação, ocorrendo a presença de grupos carregados como –NH-, $–NH_2$ e $–SO_3H$ na estrutura do corante, afeta diretamente as propriedades elétricas do corante e consequentemente a reação de neutralização entre o coagulante e o corante, que por sua vez afeta a coagulação de acordo com Mcyotto, *et al.* (2021).

Conclusão

O objetivo principal do estudo foi avaliar a eficiência do processo EC/BC combinado em relação ao tratamento de um efluente sintético proveniente da indústria têxtil e avaliar a remoção de cor. Os estudos envolvendo a aplicação do sistema EC/BC combinado apontam um excelente desempenho do biocarvão como material adsorvente na remoção de corante com valores de remoção acima de 90%. Os mecanismos de adsorção e redução da superfície do BC podem ser efetivamente usados

para tratar águas residuárias da indústria têxtil, já que a superfície do BC estará carregada negativamente, o que justifica o maior acúmulo de cátions. O biocarvão, desempenhou elevada capacidade de sorção dos corantes empregados neste estudo, demonstrando que a área superficial do BC aumenta com a ativação química do tratamento químico modificado da superfície. Com estes resultados pode-se dizer que o sistema Eletrocoagulação/Biocarvão combinado é uma técnica promissora na remoção do corante em relação às técnicas convencionais além de atender os princípios da Química Verde como técnica de tratamento de águas residuárias sem uso de produtos químicos no seu processo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. 22p. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12713: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com Daphnia spp (Crustacea, Cladocera). 4 ed. Rio de Janeiro, 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA: **Standard methods for the examination of water and wastewater**. APHA: 22ª. ed. Washington, 2012.

BELLI, Tiago José *et al.* Treatment of azo dye-containing wastewater in a combined UASB-EMBR system: Performance evaluation and membrane fouling study. Journal of Environmental Management, v. 365, p. 121701, 2024.

CHEN, Du *et al.* Synthesis and dyeing performance of novel heterocyclic azo disperse dyes for polylactic acid fiber. Dyes and Pigments, v. 228, p. 112198, 2024.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

GARCIA-SEGURA, S. *et al.* Removal of organic contaminants from secondary effluent by anodic oxidation with a boron-doped diamond anode as tertiary treatment. Journal of Hazardous Materials, v. 283, p. 551-557, 2015.

KOSLOWSKI, Luciano André Deitos *et al.* Treatment of wastewater from a printing industry using electrocoagulation. Revista Ambiente & Água vol. 20, e3039, p. 01-13, 2025.

LACH, Carlos Eduardo *et al.* Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on Daphnia magna test organisms. Journal of Water Process Engineering, v. 45, p. 102485, 2022.

LIANG, Liping *et al.* Review of organic and inorganic pollutants removal by biochar and biochar-based composites. Biochar, v. 3, p. 255-281, 2021.

MCYOTTO, F. *et al.* Effect of dye structure on color removal efficiency by coagulation. Chemical Engineering Journal, v. 405, p. 1–13, 2021.

NÚÑEZ, J. *et al.* Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. Journal of Hazardous Materials, v. 371, p. 705–711, 2019.

PAPADOPOULOS, Konstantinos P. *et al.* Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation. Journal of environmental management, v. 237, p. 442-448, 2019.

PERIYASAMY, Aravin Prince. Recent advances in the remediation of textile-dye-containing wastewater: prioritizing human health and sustainable wastewater treatment. Sustainability, v. 16, n. 2, p. 495, 2024.

ROSA, Jorge Marcos *et al.* Toxicity and environmental impacts approached in the dyeing of polyamide, polyester and cotton knits. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 7, n. 2, p. 102973, 2019.

SANCHEZ-MONEDERO, M. A. *et al.* Role of biochar as an additive in organic waste composting. Bioresource Technology, v. 247, p. 1155-1164, 2018.

TAHREEN, A.; JAMI, M. S.; ALI, F. Role of electrocoagulation in wastewater treatment: a developmental review. Journal of Water Process Engineering, v. 37, p. 1–11, 2020.

VEPSÄLÄINEN, Mikko; SILLANPÄÄ, Mika. Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. In: Advanced water treatment. Elsevier, 2020. p. 1-78.

Análise da Qualidade da água do Ribeirão Taquaras, Alto Vale do Itajaí, Ibirama SC Brasil

Luciano André Deitos Koslowski[1], Silvana Licodiedoff[2], Alexandre Tadeu Paulino[3]

[1]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia CivilUDESC/CEAVI, Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada/UDESC/CCT (luciano.koslowski@udesc.br)

[2]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária/UDESC/CEAVI silvana.licoo@gmail.com

[3] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada/ UDESC/CCT (alexandre.paulino@udesc.br)

Resumo: A degradação dos corpos hídricos decorrente do lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais e atividades agrícolas resultam em problemas graves para o ambiente aquático. A presença de cursos d'água junto às zonas urbanas sempre constitui um desafio, já que a qualidade do recurso hídrico varia de acordo com o ambiente de gênese, o percurso, geologia e a interferência humana. Para a realização do estudo, foram selecionados 5 pontos de amostragem e realizadas 4 coletas durante o período de 2 anos (2022-2023) ao longo da extensão do Ribeirão Taquaras localizado na cidade de Ibirama, Santa Catarina. Os seguintes parâmetros firam avaliados: cor verdadeira, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, e nitrogênio total além da análise biológicos (coliformes termotolerantes). Os valores obtidos foram comparados com a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Os resultados obtidos evidenciam que os seguintes parâmetros e respectivos valores médios atenderam a Resolução 357/2005 do Conama: pH (6,02-7,50), cor verdadeira (7,20 uH – 13,00 uH) e turbidez (4,20-20,00 UNT). Os resultados denotam que os seguintes parâmetros e seus respectivos valores médios exigiram atenção: fósforo total (> 0.030 mg L^{-1}).

Palavras-chave: urbanização, efluente doméstico, poluição.

Water quality of the Taquaras Stream, Upper Itajaí Valley, Ibirama SC Brazil

Abstract: The rapid and uncontrolled urban growth observed from the Industrial Revolution to the present has led to water quality degradation and pollution, resulting in specific problems related to water usage and waterborne diseases from contaminated water consumption. This study was conducted by selecting 5 monitoring points and carrying out 4 samples over a period of 2 years (2022-2023) at six-month intervals along the length of the Taquaras

stream located in the city of Ibirama, Santa Catarina. The following parameters were assessed: true color, pH, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), phosphorus, total nitrogen, and biological indicators (thermotolerant coliforms). The values obtained were compared with Resolution 357/2005 of the National Environmental Council (Conama). The results show that the following parameters and their mean values complied with Conama Resolution 357/2005: pH (6.02-7.50), true color (7.20-13.00 Hazen units), and turbidity (4.20-20.00 NTU). However, the total phosphorus quantification showed a value of > 0.030 mg L^{-1}, requiring special attention, as its excess in water bodies leads to eutrophication, reducing dissolved oxygen concentration and consequently affecting the physicochemical characteristics of water.

Key words: domestic pollution, domestic effluent, phosphorus.

Introdução

O padrão de qualidade de vida de uma população está diretamente relacionado à disponibilidade e à qualidade de sua água, sendo considerado um recurso natural limitante no desenvolvimento econômico em diversas partes do mundo (Voronina, Y., Lopushynskyi, I., Grechanyk, B., Vahonova, O., Kondur, A., & Akimov, O., 2024). A demanda e a oferta dos recursos hídricos têm sido comprometidas, considerando que em muitos lugares do mundo, as águas superficiais e as subterrâneas estão contaminadas com esgotos industriais, agrícolas e municipais (Dawoud, M. A., 2025). As influências antrópicas sobre a qualidade da água estão fortemente associadas ao crescimento da urbanização, da expansão das atividades agropecuárias e industriais (Mitrović, T., Antanasijević, D., Lazović, S., Perić-Grujić, A., & Ristić, M., 2019). As ações antropogênicas denotam considerável impacto nos sistemas hídricos, destacando-se lançamentos de cargas poluentes e a alteração do uso da terra acaba provocando intervenções diretas no sistema fluvial. As contaminações antropogênicas são em muitos casos provenientes de fontes difusas como esgoto doméstico, carreamento de poluentes pelas chuvas em áreas urbanas e agrícolas (Lach, C. E., Costa, S. I. O., Misturini, M., Pauli, C. S., Koslowski, L. A. D., 2020), descargas industriais (Hartmann, J., van Driezum, I., Ohana, D., Lynch, G., Berendsen, B., Wuijts, S., de Roda Husman, A. M., 2020), aquicultura e reflorestamentos. Deste modo, há a necessidade de enquadramento dos recursos hídricos aos diferentes níveis de qualidade, já que se designam a usos múltiplos. A presença de cursos d'água, junto às zonas urbanas, afeta substancialmente a qualidade do recurso hídrico, sendo considerado o ambiente de gênese, percurso, geologia e a interferência humana (Lach,

C. E., Costa, S. I. O., Misturini, M., Pauli, C. S., Koslowski, L. A. D., 2020). A poluição química presente nos rios pode ser considerada como uma das principais ameaças ao ecossistema aquático e à saúde pública (Lach, C. E., Costa, S. I. O., Misturini, M., Pauli, C. S., Koslowski, L. A. D., 2020). A escassez hídrica encontra-se relacionada ao uso e ocupação das áreas urbanas, sem ponderar os impactos ao meio ambiente e ao próprio indivíduo, resultando em problemas como destruição de fauna e flora, enchentes e assoreamento dos leitos de rios (Cadorin, G. R., de Souza, A. L. F., Destefani, A., Martins, C. E. N., 2023)

O município de Ibirama compõe a região do Alto Vale Itajaí em Santa Catarina, possuindo área de 247,1028 km², população de 19.862 habitantes (IBGE, 2022). Da mesma forma, apresenta 92,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 57,8% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 27,8% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (IBGE, 2022). A área de estudo localiza-se na região do Alto Vale da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. O Ribeirão Taquaras apresenta ao longo do seu percurso, bastante variação de altitude caracterizada por apresentar relevo ondulado e montanhoso montante situada no mesmo bairro que leva o mesmo nome (Milanesi, L. D. S., Peroni, N., & dos Reis, M. S., 2013). O trecho de estudo abrange intensa atividade agrícola (rizicultura), industrial (cervejarias) e unidades residenciais.

A região hidrográfica apresenta pluviosidade anual de cerca de 1550,0 mm, relevo predominantemente montanhoso, com altitude de 150 m acima do nível do mar, em clima subtropical com invernos frios e temperatura média anual de 20 °C (Governo de Santa Catarina, 2015).

Materiais e Métodos

Para o estudo, foram estipulados cinco pontos de amostragem ao longo do Ribeirão Taquaras (Tabela 1), em Ibirama– SC, obtidos pelo software QGIS (sistema de informação geográfica-SIG).

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem (sistema de coordenadas geográficas do software WGS 84)

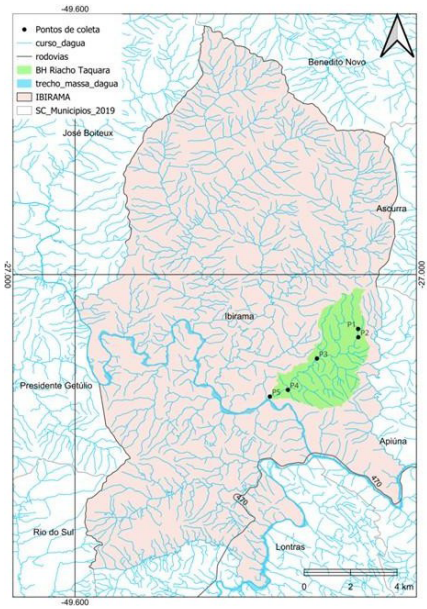
Pontos	Coordenadas geográficas	Local – ponto de amostragem
P1	-27.0236375991525, -49.476913305547264	Próximo a nascente do Ribeirão Taquaras – zona rural

P2	-27.027243687629753, -49.476840885917355	Estrada Ribeirão Taquaras – zona rural, produção rural e pastagem
P3	-27.036494594783193, -49.494832904778235	R. Franz Linke, 1333 – Bairro Taquaras, Ribeirão Taquaras – zona rural com edificações
P4	-27.05007433093427, -49.50743436350431	R. Koepsel, 53 – Taquaras – Ribeirão Taquaras – zona urbana
P5	-27.053009152362385, -49.515293648955044	R. Duque de Caxias, 03 – Centro Confluência do Ribeirão Taquaras com o Rio Itajaí do Norte

Fonte: do autor (2025)

Os pontos de amostragem referem-se a área rural (P1, P2, P3) e área urbana (P4 e P5). O ponto de amostragem P5 indica a junção do Ribeirão Taquaras com o Rio Itajaí do Norte, uma sub-bacia hidrográfica do Rio Itajaí-açu, cujo curso d'água faz parte do sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Itajaí (Figura 1). Na escala 1:50.000, registra-se uma extensão próxima de 25.000 km de cursos d'água. A densidade de drenagem é estimada em 1,55 km/km². conforme ilustrado na Figura 1 e as coordenadas geográficas expressas na Tabela 1.

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem conforme sistemas de coordenadas geográficas



Fonte: do autor (2025)

O estudo realizado compreendeu o período de janeiro de 2022 a setembro de 2023, com os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). As amostras foram coletadas a cerca de 20-30 cm da superfície da lâmina d´água. Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com o procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). A determinação do pH foi feita pelo método eletrométrico (Hanna HI 3221, SMEWW-4500H+.B); turbidez, pelo método nefelométrico (Hanna HI 93703, SMEEWW 2130B) e cor verdadeira (Hach Modelo DR/2010, SMEWW-2120D), determinação de fósforo total (SMEWW 3030 E; EPA – 6010). A análise microbiológica de *Escherichia coli* foi realizada pela técnica do Colilert em cartela – método de substrato cromogênio no Laboratório de Microbiologia da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/Campus Alto Vale. A técnica de análise empregada identifica a presença de indicadores biológicos de contaminação fecal e possíveis patogênicos. Expressou-se os resultados com base na tabela NMP (Número Mais Provável em 100 mL de água).

Resultados e Discussão

De acordo com o enquadramento do Ribeirão Taquaras em classe II conforme preconizado pelo CONAMA 357/2005, os corpos hídricos enquadrados nessa classe são considerados, não menosprezando as demais classes de corpos hídricos, de grande importância para o abastecimento humano, visto que a potabilidade dessa água é possível através do emprego de tratamento convencional. No Quadro 1 encontra-se sumarizado os resultados relativos as análises físico-química (pH, turbidez e cor verdadeira) nas amostragens realizadas nos anos de 2022 a 2023 em todos os cinco pontos amostrais do Ribeirão Taquaras.

Quadro 1 – Análises físico-químicas do Ribeirão taquaras no período 2022/2023

Parâmetros	**Resultados da coleta 1 (janeiro/2022)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Turbidez (UNT)	9,50	13,00	7,35	20,00	17,00
pH	7,53	6,93	7,12	6,76	7,06
cor verdadeira (uH)	5,50	10,60	5,90	15,30	12,40
Parâmetros	**Resultados da coleta 2 (julho/2022)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Turbidez (UNT)	4,20	12,00	12,00	10,00	13,00

pH	6,03	7,10	7,12	7,41	6,97
cor verdadeira (uH)	7,20	13,00	6,00	11,60	9,30
Parâmetros	**Resultados da coleta 3 (janeiro/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Turbidez (UNT)	6,35	8,50	8,00	10,00	12,00
pH	7,10	7,22	6,94	7,54	7,62
cor verdadeira (uH)	7,50	6,30	9,60	8,30	10,90
Parâmetros	**Resultados da coleta 4 (julho/2023)**				
	P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**
Turbidez (UNT)	5,70	12,00	14,00	11,00	11,00
pH	7,15	6,90	7,30	7,51	6,97
cor verdadeira (uH)	7,70	11,00	7,00	10,00	9,30

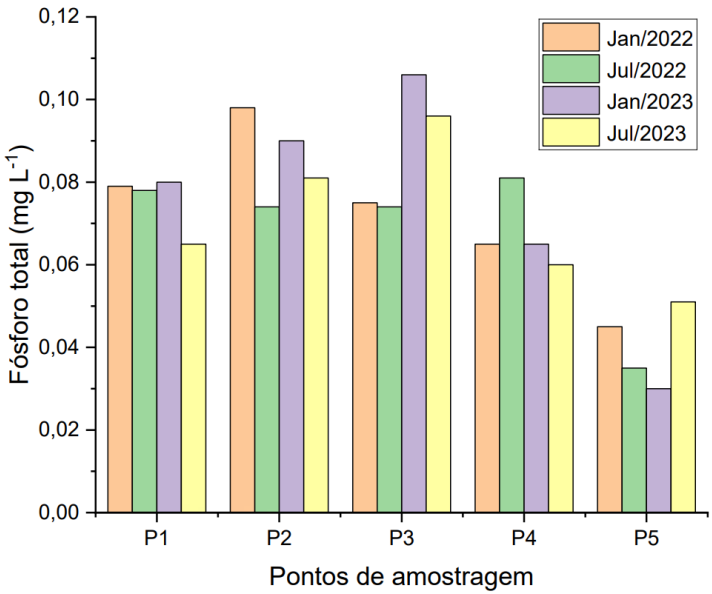
Fonte: do autor (2025)

A análise de dados do Quadro 1 mensura a variação da turbidez em uma faixa de 4,70 a 20 UNT em todas as amostragens realizadas em períodos distintos. Os valores de turbidez encontrados se enquadram conforme a legislação do Conama 357/2005, que estabelece o valor de até 100 UNT. As variações de turbidez, principalmente nos pontos P1, P2 e P3, encontram-se ligeiramente acima dos valores encontrados nos pontos P4 e P5, possivelmente pela presença mais intensa de vegetação à beira do corpo hídrico e, arraste de partículas sólidas carreadas pelo escoamento superficial para o curso d'água, evidenciando os problemas de perda de solo existentes na Bacia do Ribeirão Taquaras. Em estudos realizados nas águas do rio Alegre no Espírito Santo, foram observados resultados similares como aumento da turbidez da água e dos sólidos totais das águas na época de maior precipitação (Zonta, J. H., Zonta, J. B., da Silva Rodrigues, J. I., & dos Reis, E. F., 2008). Neste sentido, os dados do estudo apresentados no Quadro 1 indicam não existir uma relação específica do pH com as atividades antrópicas tanto na área urbana como na área rural (valores de pH situados na faixa de 6,0-7,50) nos pontos de amostragem estudados no corpo hídrico. Da mesma maneira, fatores naturais como a dissolução de rochas, fotossíntese e fatores relacionados a atividades urbanas e agroindustriais podem afetar o pH da água, resultando em danos sistemáticos ao ecossistema aquático (Lunelli, K., Narciso, N. B., Paulino, Ê. A., Koslowski, L. A. D., 2019). A cor verdadeira apresentou algumas oscilações ao longo do percurso do Ribeirão Taquaras, sendo possível observar aumento dos

pontos de amostragem P1, P2, P3 (4,20 a 12,00) em relação aos pontos P4 e P5 (11,00 a 20,00). Desta forma, uma possível justificativa pode ser atribuída a concentração populacional resultante da urbanização nos dois últimos pontos e o lançamento de esgotos domésticos, contribuindo substancialmente para o aumento da cor verdadeira. Entretanto, os valores observados encontram-se abaixo do limite máximo permitido pela legislação Conama 357 (limite de 75 uH).

Os dados referentes a determinação do fósforo total nos pontos de amostragem, pode ser observado na Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Concentração de fósforo total (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem do Ribeirão Taquaras.

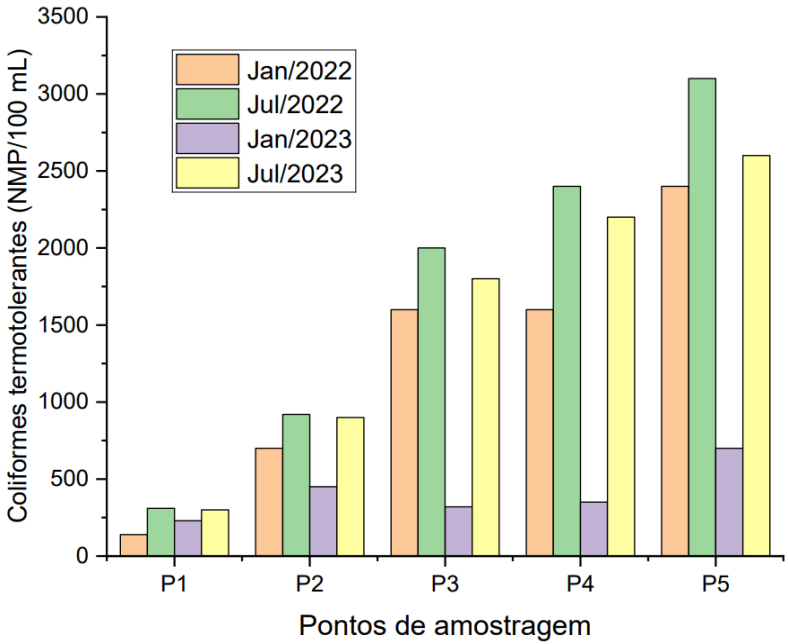


Fonte: do autor (2025).

Com base nos dados observados na Figura 2, os valores apresentados encontram-se acima do estipulado na Resolução Conama (0,030 mg L^{-1}), sendo também observado valores acima do limite em todos os pontos e períodos de amostragem. Neste aspecto, presume-se um possível carreamento de fósforo pelo escoamento superficial, cuja provável fonte se deve a aplicação de adubos (constituídos por fósforo, nitrogênio e potássio) ao longo das áreas de cultivo da Bacia. O fósforo, desempenha um papel significativo na água doce, onde as entradas de fósforo provenientes da agricultura e dos esgotos são prejudiciais aos

corpos hídricos (Lan, J., Liu, P., Hu, X., & Zhu, S., 2024). O fósforo em excesso nos corpos hídricos ocasiona a eutrofização do mesmo, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido e, por consequência acaba afetando as características físico-químicas da água (Hooda, V., Gupta, S., Chundawat, T. S., Lather, A. S., 2024). O principal parâmetro analisado que não se adequa a legislação é o de coliforme totais, que no estudo considerou a bactéria *Escherichia coli* por ser um indicador de contaminação fecal na água (Figura 3).

Figura 3 – Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) nos pontos de amostragem do Ribeirão Taquaras.



Fonte: do autor (2025).

Os resultados obtidos indicam que a qualidade do corpo hídrico nos pontos amostrais do Ribeirão Taquaras apresenta parâmetros de qualidade da água inferiores no que se refere aos coliformes fecais e coliformes totais aos requisitos referentes à classe 2. A condição apresentada pela legislação em termos de valores de referência visa à utilização adequada e segura do corpo hídrico, enquadrando-se como classe II, o rio em estudo, aplica-se o disposto no Artigo 15 – parágrafo II “coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato pri-

mário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n0 274, de 2000" (BRASIL, 2000). Neste contexto, destacam-se os valores críticos dos parâmetros biológicos (Coliformes Totais e Fecais) associadas à elevação da carga orgânica nos pontos amostrais do corpo hídrico e, ainda, a influência de atividades agropecuárias e de urbanização e infraestrutura sanitária inadequada no trecho, no qual estão localizados os pontos amostrais deste estudo. Portanto, foi evidenciada a presença substancial de coliformes em toda a extensão do curso hídrico do Ribeirão Taquaras, bem acima dos resultados máximos permitidos pela Resolução Conama (>2419,60 NMP 100 mL^{-1}).

Deste modo, percebe-se que o uso e a ocupação do solo nas áreas no entorno da nascente, zoneamento rural e urbano e os impactos derivados das ações antrópicas afetam substancialmente a qualidade ambiental das nascentes.

Conclusão

Os resultados obtidos nas análises demonstram que os pontos de coleta mais próximos à nascente, essencialmente o ponto P1, apresentam características melhores em relação aos pontos mais distantes, à exemplo dos pontos P4 e P5 localizados na zona urbana. Salienta-se que na zona urbana a área demográfica é maior e os índices de coleta e tratamento de esgoto são precários, concentrando assim, maior quantidade de dejetos, tanto domiciliar quanto industrial, despejado no corpo hídrico.

A utilização da legislação Conama 357/2005 para avaliação dos resultados obtidos das análises físico-químicas e microbiológicas, apontam que os coliformes termotolerantes estão próximos do limite permitido para rio classe 2 em todos os pontos de amostragem, evidenciando assim a contaminação desde a montante do corpo hídrico estudado até a jusante. O fósforo total apresentou valores médios acima do limite estipulado pela legislação, sendo que este parâmetro possui relação direta ao lançamento de esgoto doméstico no corpo hídrico e a presença de resíduos químicos resultante do processo de uso de adubos e fertilizantes ao longo do curso hídrico.

Nesse caso, percebe-se a necessidade de que os gestores públicos do município desenvolvam políticas públicas de conscientização da população e das indústrias para um potencial poluidor que os mesmos têm perante o Ribeirão Taquaras e as consequências dessas atitudes ao meio

ambiente, levando-se em consideração o crescimento da população urbana que está associado ao aumento da produção de esgoto sanitário.

Portanto, deve ser ressaltado a importância para a continuidade do monitoramento da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaras, e que sejam estabelecidas medidas mitigatórias e preventivas, como a proteção e reposição das áreas de preservação permanente.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. 22p. Rio de Janeiro, 1987.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA: **Standard methods for the examination of water and wastewater**. APHA: 22ª. ed. Washington, 2012.

CADORIN, Glauber Rover *et al.* PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS PARA MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA (JOINVILLE, SANTA CATARINA, BRASIL). Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 20, n. 2023, 2023.

CONAMA. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2005.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

DAWOUD, Mohamed A. Groundwater Management and Governance in MENA Region. In: Groundwater in Developing Countries: Case Studies from MENA, Asia and West Africa. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 67-95, 2025.

HOODA, Varshant *et al.* " From Nutrient to Nuisance: The Impact of Phosphorus on Aquatic Ecosystem Health. Aquatic Pollution. CRC Press, 2024.

IBGE, I. B. de Geografia e E. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, 2022.

LACH, Carlos Eduardo *et al.* Avaliação da qualidade da água do rio Hercílio, município de Ibirama, SC. Revista de Ciências Ambientais, v. 14, n. 1, p. 07-16, 2020.

LAN, Jiaxin *et al.* Harmful algal blooms in eutrophic marine environments: causes, monitoring, and treatment. Water, v. 16, n. 17, p. 2525, 2024.

LUNELLI, Karina *et al.* Qualidade da água do Rio dos Índios sob influência de atividades agroindustriais e de urbanização. Revista Virtual de Química, v. 11, n. 4, 2019.

MITROVIĆ, Tatjana *et al.* Virtual water quality monitoring at inactive monitoring sites using Monte Carlo optimized artificiais neurais networks: A case study of

Danube River (Serbia). Science of the total environment, v. 654, p. 1000-1009, 2019.

VORONINA, Yuliia *et al.* Economic and environmental component in the field of sustainable development management. Calitatea, v. 25, n. 201, p. 7-14, 2024.

ZONTA, João Henrique *et al.* Qualidade das águas do rio Alegre, Espírito Santo. Revista Ciência Agronômica, v. 39, n. 1, p. 155-161, 2008.

Cidades inteligentes e IA: o futuro da prevenção de desastres ambientais no Rio Grande do Sul

Jaqueline Rodrigues de Oliveira[1], Alice Soares Meira[2]
[1]*Doutoranda em direito pelo Programa de Pós-graduação da Universidade de Caxias do Sul – UCS (jaqueline.rodrigues.academico@gmail.com)*
[2] *Graduanda em Direito pela Universidade de Caxias do Sul – UCS (ARSoares2@ucs.br)*

Resumo: A crescente frequência e intensidade das enchentes no estado do Rio Grande do Sul evidenciam a necessidade de estratégias inovadoras para a prevenção e mitigação de desastres ambientais, garantindo cidades mais resilientes e sustentáveis. Este estudo objetiva investigar o papel da inteligência artificial no planejamento urbano sustentável, analisando como essa tecnologia pode contribuir para a redução dos impactos de eventos climáticos extremos. A pesquisa adota uma metodologia interdisciplinar, combinando big data, sensoriamento remoto e modelagem preditiva, de forma alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). O estudo está estruturado em seções. A primeira seção contextualiza a problemática das enchentes no Rio Grande do Sul, destacando a necessidade de inovação na gestão de riscos climáticos e apresentando a relevância da IA na mitigação de impactos ambientais. Em seguida, explora-se o papel da inteligência artificial na prevenção de enchentes, detalhando suas principais aplicações, como modelagem preditiva, sensoriamento remoto e otimização da infraestrutura urbana, permitindo respostas mais ágeis e eficazes. Por fim, aborda-se o conceito de cidades do futuro e sustentabilidade ambiental, apresentando soluções inovadoras baseadas em IA, como infraestrutura verde, construções inteligentes e governança digital, que promovem maior resiliência e eficiência na gestão urbana. A pesquisa destaca os benefícios da IA na maximização da segurança ambiental, redução de impactos socioeconômicos e transformação da gestão de riscos climáticos, além de discutir os desafios e oportunidades para sua implementação no contexto brasileiro. Assim, conclui-se que a adoção dessas tecnologias pode impulsionar um planejamento urbano mais sustentável e inteligente, contribuindo para o enfrentamento dos desafios climáticos e para a construção de cidades mais preparadas para o futuro.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Urbana. Planejamento Sustentável. Cidades do Futuro. Gestão de Riscos Climáticos.

Smart cities and ai: the future of environmental disaster prevention in Rio Grande do Sul

Abstract: The increasing frequency and intensity of floods in the state of Rio Grande do Sul highlight the need for innovative strategies for environmental disaster prevention and mitigation, ensuring more resilient and sustainable cities. This article aims to investigate the role of artificial intelligence (AI) in sustainable urban planning, analyzing how this technology can contribute to reducing the impacts of extreme climate events. The research adopts an interdisciplinary methodology, combining big data, remote sensing, and predictive modeling, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 11 (Sustainable Cities and Communities) and SDG 13 (Climate Action). The article is structured into sections. The first section contextualizes the flooding issue in Rio Grande do Sul, emphasizing the need for innovation in climate risk management and presenting the relevance of AI in mitigating environmental impacts. Next, the role of artificial intelligence in flood prevention is explored, detailing its main applications, such as predictive modeling, remote sensing, and urban infrastructure optimization, enabling faster and more effective responses. Finally, the concept of future cities and environmental sustainability is addressed, presenting innovative AI-based solutions, such as green infrastructure, smart buildings, and digital governance, which promote greater resilience and efficiency in urban management. The research highlights the benefits of AI in maximizing environmental security, reducing socioeconomic impacts, and transforming climate risk management, while also discussing the challenges and opportunities for its implementation in the Brazilian context. Thus, the study concludes that the adoption of these technologies can drive more sustainable and intelligent urban planning, contributing to addressing climate challenges and building cities better prepared for the future.

Key words: Urban Artificial Intelligence. Sustainable Planning. Cities of the Future. Climate Risk Management.

Introdução

As enchentes no Rio Grande do Sul (RS) têm se tornado cada vez mais frequentes e intensas, impactando a população, a infraestrutura e a economia. Esses eventos extremos, agravados pelas mudanças climáticas, exigem medidas urgentes de mitigação e prevenção. Em 2024, inundações severas evidenciaram a necessidade de estratégias alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

A inteligência artificial (IA) surge como uma solução promissora para aprimorar a gestão de riscos climáticos e fortalecer a resiliência

urbana. Este estudo objetiva investigar como a IA pode ser integrada ao planejamento urbano do RS para prevenir desastres ambientais e promover um futuro sustentável. A pesquisa objetiva analisar as falhas nos modelos atuais de gestão e apresentar soluções inovadoras baseadas em IA, demonstrando que o investimento em tecnologia pode tornar o estado referência na gestão sustentável de riscos climáticos.

A metodologia adotada combina análises qualitativas e quantitativas, incluindo o estudo de dados climáticos, modelos preditivos e pesquisas em urbanismo, sustentabilidade e tecnologia. A pesquisa explora o agravamento das enchentes no RS devido ao crescimento urbano desordenado e à impermeabilização do solo, destacando a IA como uma ferramenta essencial para previsões climáticas, monitoramento contínuo e infraestrutura adaptativa.

O estuda está dividido em seções, qual tem uma seção dedicada à IA, discutindo seu papel na prevenção de enchentes por meio de algoritmos avançados, aprendizado de máquina e sensoriamento remoto, permitindo respostas rápidas e eficientes. Além disso, a IA contribui para o desenvolvimento de sistemas de drenagem otimizados, planejamento urbano sustentável e alocação estratégica de barreiras contra enchentes, reduzindo significativamente os impactos desses desastres. A última parte do estudo aborda a cidade do futuro, onde tecnologia e sustentabilidade se integram para minimizar impactos ambientais e aumentar a resiliência urbana. Soluções como infraestrutura verde (telhados vegetais, pavimentos permeáveis e sistemas naturais de drenagem), construções inteligentes e gestão eficiente dos recursos hídricos, impulsionadas pela IA, tornam as cidades mais preparadas para enfrentar desafios climáticos.

Para tanto, ressalta-se que, apesar das inúmeras oportunidades, desafios como viabilidade econômica, capacitação técnica e implementação de políticas eficazes ainda precisam ser superados. O investimento em tecnologia, pesquisa e governança inteligente é essencial para reduzir os impactos das enchentes e garantir um futuro mais seguro e sustentável para as próximas gerações, consolidando o RS como um modelo de adaptação climática e resiliência urbana.

Enchentes no RS e o papel da ia na mitigação ambiental

A intensificação das enchentes no RS evidencia a necessidade de medidas inovadoras para mitigar seus impactos e proteger a população.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, assegura o direito ao meio ambiente equilibrado, impondo ao poder público a responsabilidade por sua preservação (Brasil, 1988). Nesse cenário, a IA desponta como ferramenta essencial na formulação de políticas públicas voltadas à gestão de riscos ambientais, possibilitando a implementação de medidas preventivas com base em dados concretos e previsões precisas.

Um dos avanços mais significativos no uso da IA para combate às enchentes é a modelagem preditiva. De acordo com Rech (2020), por meio de algoritmos de aprendizado profundo, é possível analisar padrões climáticos e históricos de precipitação para prever com antecedência a ocorrência de inundações, permitindo que os municípios adotem evacuações programadas e ações emergenciais eficazes. O Estatuto da Cidade, Lei n° 10.257/2001, reforça a necessidade do planejamento urbano para minimizar riscos ambientais, tornando a IA um instrumento essencial para a conformidade dessas diretrizes (Brasil, 2001).

A integração da IA com o sensoriamento remoto e a Internet das Coisas tem revolucionado o monitoramento ambiental. Sensores inteligentes instalados em rios e bacias hidrográficas captam dados em tempo real sobre o nível da água, a umidade do solo e a variação climática, possibilitando que autoridades emitam alertas automáticos à população e adotem ações imediatas para minimizar os impactos das enchentes. Para tanto, a Lei de Proteção e Defesa Civil já prevê a necessidade de monitoramento contínuo de desastres naturais, possibilitando então que a adoção da IA nesse processo poderá tornar as respostas mais ágeis e eficazes (Brasil, 2012).

A gestão da infraestrutura urbana também se beneficia do uso da IA, permitindo a otimização da operação de drenagens, reservatórios e barragens, além de ajustes automáticos na vazão de comportas e identificação de áreas vulneráveis que necessitam de melhorias estruturais. No contexto do planejamento urbano adaptativo, para Ferri (2024), a IA permite a realização de simulações avançadas para identificar áreas de risco e propor soluções sustentáveis, como pavimentos permeáveis, sistemas naturais de drenagem e parques inundáveis. Essas estratégias estão alinhadas à Agenda 2030 da ONU e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11, que busca a construção de cidades resilientes e sustentáveis. A incorporação de soluções inovadoras no planejamento urbano poderá reduzir significativamente os impactos das enchentes no RS.

A governança digital surge como mais um recurso fundamental na gestão de desastres ambientais, permitindo o desenvolvimento de aplicativos e plataformas baseados em IA para fornecer alertas personalizados à população sobre áreas de risco, rotas de evacuação e medidas de segurança. Segundo Fiorillo (2024), além das ações preventivas, a IA pode ser aplicada no treinamento de equipes de resposta emergencial. Simulações baseadas em aprendizado de máquina permitem testar cenários de evacuação, alocação de recursos e distribuição de suprimentos, garantindo que os serviços de emergência estejam preparados para agir com rapidez e eficiência diante de eventos climáticos extremos.

A implementação dessas tecnologias, no entanto, exige investimentos estratégicos e uma base jurídico adequada. Parcerias entre o setor público e privado são essenciais para viabilizar soluções tecnológicas, promovendo incentivos fiscais para inovação e regulamentação apropriada para o uso da IA na gestão urbana. Apesar dos desafios, os benefícios proporcionados pela IA na prevenção de enchentes são inegáveis. A combinação de análise de big data, sensoriamento remoto, governança digital e infraestrutura inteligente tem o potencial de transformar a gestão de riscos climáticos no RS, tornando as cidades mais preparadas. Além disso, a adoção dessas tecnologias pode reduzir custos públicos com reconstrução e assistência emergencial, direcionando recursos para investimentos estruturais mais eficazes.

Inteligência artificial na prevenção de enchentes e seus benefícios

A intensificação das enchentes no RS demanda soluções inovadoras e eficazes para mitigar seus impactos e garantir a segurança da população. A IA tem se consolidado como uma ferramenta essencial na prevenção e gestão de desastres ambientais, permitindo previsões mais precisas, otimização da infraestrutura urbana e aprimoramento da resposta emergencial.

Entre os principais avanços proporcionados pela IA, destaca-se a modelagem preditiva, que emprega algoritmos de aprendizado de máquina para analisar dados climáticos históricos e identificar padrões meteorológicos indicativos de riscos iminentes. Para Fiorillo (2024), essa tecnologia possibilita prever com maior antecedência a ocorrência de chuvas intensas e alagamentos, permitindo que governos e comunidades adotem medidas preventivas eficazes. Esse recurso se torna ainda

mais relevante diante das mudanças climáticas, que vêm intensificando a frequência e severidade das tempestades no sul do Brasil, conforme relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2024).

Além da modelagem preditiva, a IA viabiliza monitoramento ambiental em tempo real por meio do sensoriamento remoto e da Internet das Coisas. Sensores instalados em rios, barragens e sistemas de drenagem captam dados sobre o nível da água, umidade do solo, pressão atmosférica e temperatura, permitindo a identificação precoce de situações de risco. Segundo Vasconcellos (2015), no Brasil, a Agência Nacional de Águas já utiliza tecnologias de telemetria para monitoramento de recursos hídricos, mas a integração da IA pode ampliar significativamente a precisão e eficiência desses sistemas, reduzindo os impactos das enchentes.

Outro benefício da IA está na gestão inteligente da infraestrutura urbana, permitindo a automação da operação de drenagens, reservatórios e barragens. Sistemas de IA analisam dados em tempo real para ajustar automaticamente a vazão de comportas, prevenindo transbordamentos, e indicar pontos críticos que necessitam de melhorias estruturais. A IA também desempenha um papel crucial no planejamento urbano adaptativo, identificando áreas de risco e propondo soluções sustentáveis. O uso de infraestrutura verde, como parques inundáveis, telhados verdes e pavimentos permeáveis, pode ser otimizado por algoritmos inteligentes que avaliam sua eficácia em diferentes cenários climáticos. Essa abordagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11, que busca tornar as cidades mais seguras, inclusivas, resilientes e sustentáveis.

Para Rech (2020), a governança digital é outro elemento essencial impulsionado pela IA, permitindo maior eficiência e transparência na comunicação entre gestores públicos e cidadãos. Aplicativos e plataformas baseadas em IA podem fornecer alertas em tempo real sobre evacuações, rotas seguras e medidas de precaução, garantindo informações rápidas e confiáveis durante crises ambientais. Após as últimas enchentes, o RS começou a adotar o uso de tecnologias avançadas para mitigar os efeitos de catástrofes ambientais. Em 30 de novembro de 2024, a Defesa Civil do Rio Grande do Sul realizou com sucesso o teste “Defesa Civil Alerta” em 36 municípios, incluindo Caxias do Sul, Porto Alegre, Pelotas e Santa Maria. Utilizando a tecnologia de cell

broadcast, o sistema enviou alertas sonoros diretamente aos celulares dos moradores, mesmo que estivessem no modo silencioso ou sem créditos, garantindo ampla disseminação das mensagens. Desenvolvido em parceria com a Anatel e as principais operadoras de telefonia, o objetivo é fornecer avisos imediatos à população em situações de desastres extremos, sem a necessidade de cadastro prévio. A partir de de dezembro de 2024, o sistema foi integrado às demais formas de alerta da Defesa Civil Estadual, sendo empregado exclusivamente em casos de risco iminente à população (RS.GOV, 2024).

Além das ações preventivas, a IA pode aprimorar a resposta emergencial, auxiliando equipes de resgate e defesa civil na alocação eficiente de recursos e definição de estratégias de evacuação. Algoritmos de otimização podem calcular rotas seguras, monitorar redes sociais para identificar áreas mais afetadas e indicar a disponibilidade de abrigos. Essa abordagem pode transformar a gestão de desastres no Brasil, reduzindo tempos de resposta e protegendo vidas.

Os benefícios da IA na gestão de enchentes vão além da preservação ambiental e da proteção de vidas humanas. A adoção dessas tecnologias pode gerar economia significativa para o setor público, reduzindo custos com reconstrução de infraestrutura e assistência emergencial. Estudos apontam que investir em tecnologias a fim de evitar desastres ambientais resultam em uma redução de até 44,8% no número de pessoas afetadas, também uma economia estimada em 22 milhões de reais, tornando a IA uma solução sustentável e economicamente viável para os governos (GOV, 2024).

Diante desse cenário, é fundamental que gestores públicos, legisladores e a sociedade civil reconheçam a IA como uma aliada essencial na prevenção de enchentes e na gestão de desastres ambientais. O enfrentamento desses desafios exige uma abordagem integrada, combinando inovação tecnológica, planejamento urbano sustentável e regulamentação jurídica eficiente. Somente assim será possível tornar as cidades do RS mais seguras e preparadas para os desafios climáticos do futuro.

Cidade do futuro com inteligência artificial e sustentabilidade

A urbanização acelerada e as mudanças climáticas impõem desafios crescentes à gestão das cidades, exigindo soluções inovadoras que conciliem crescimento econômico, qualidade de vida e preservação

ambiental. O conceito de cidades do futuro propõe a incorporação de tecnologias avançadas, especialmente a IA, para tornar os espaços urbanos mais sustentáveis e resilientes. Segundo o Relatório Mundial das Cidades da ONU (2022), até 2050, cerca de 68% da população global viverá em áreas urbanas, tornando essencial a implementação de estratégias inteligentes para adaptação e mitigação de impactos ambientais.

Segundo Fiorillo (2024), uma das soluções mais promissoras é a adoção de infraestrutura verde e cidades esponja, que integram áreas vegetadas, parques inundáveis e reservatórios naturais para absorver a água da chuva e reduzir o escoamento superficial. Essa abordagem já é aplicada em países como China e Alemanha, com apoio da IA para otimizar a captação e retenção das águas pluviais. Além disso, construções inteligentes podem transformar a relação dos edifícios com o ambiente, como prédios equipados com sistemas autônomos de drenagem e reuso de água pluvial, acionados por sensores e algoritmos de IA, garantem uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. A aplicação de materiais sustentáveis, painéis solares e telhados verdes também reduz a dependência de fontes externas de energia, contribuindo para a neutralidade de carbono.

O setor de transporte sustentável também se beneficia da IA, que pode otimizar o tráfego, reduzir congestionamentos e minimizar emissões de poluentes. Sistemas inteligentes analisam dados em tempo real para ajustar semáforos, melhorar o fluxo de veículos e incentivar o uso de transportes coletivos e alternativos. Cidades como Londres e Cingapura já adotaram essas tecnologias, resultando em menor tempo de deslocamento e redução de emissões. No Brasil, a aplicação desses sistemas pode contribuir para o cumprimento das metas do Acordo de Paris, diminuindo a poluição atmosférica nos grandes centros urbanos.

Além do tráfego, Rech (2020) fundamenta que a IA pode ser usada para mobilidade urbana sustentável, integrando diferentes modais de transporte de forma eficiente. Aplicativos baseados em IA otimizam o uso de bicicletas compartilhadas, transporte público e veículos elétricos, reduzindo a dependência de automóveis particulares. Essas soluções estão alinhadas ao Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), que prioriza um planejamento urbano sustentável e acessível para toda a população.

Aditar uma governança digital emerge como um dos pilares das cidades do futuro, promovendo uma administração urbana mais participativa e eficiente. Para Xavier e Rocha (2020), plataformas

baseadas em IA permitem que cidadãos interajam diretamente com gestores públicos, fornecendo feedback em tempo real sobre problemas urbanos, como iluminação pública, coleta de lixo e segurança. Essa interação fortalece os princípios da Lei de Acesso à Informação, Lei nº 12.527/2011 (Brasil, 2011), garantindo maior fiscalização social e tomada de decisões mais assertivas.

Diante das mudanças climáticas, a IA pode monitorar variações meteorológicas extremas, prever eventos climáticos severos e auxiliar na formulação de políticas ambientais eficazes. Modelos preditivos baseados em IA permitem que governos e empresas adotem estratégias de mitigação antes que desastres ocorram. Essa abordagem está alinhada à Agenda 2030 da ONU, especialmente ao ODS 13, que trata da ação climática para redução de impactos ambientais.

Logo, a integração da IA nas cidades do futuro promete revolucionar a sustentabilidade urbana, otimizando o uso de recursos naturais e reduzindo o impacto ambiental. Para Fiorillo (2024), por meio de sensores e dispositivos conectados, a IA monitora em tempo real o consumo de água e energia, identificando desperdícios e propondo ajustes para uma gestão mais eficiente. Além disso, sistemas de climatização e iluminação inteligentes adaptam-se automaticamente às condições ambientais e às necessidades dos ocupantes, promovendo economia de energia. Na gestão de resíduos, algoritmos avançados auxiliam na triagem e reciclagem, minimizando o descarte inadequado e incentivando a economia circular. Essas inovações tecnológicas não apenas melhoram a qualidade de vida dos cidadãos, mas também alinham o desenvolvimento urbano com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Diante desse cenário, fica evidente que a inteligência artificial desempenhará um papel central na construção das cidades do futuro, promovendo sustentabilidade, eficiência e resiliência. A implementação dessas inovações não apenas melhorará a qualidade de vida da população, mas também fortalecerá o compromisso global com a preservação ambiental e o combate às mudanças climáticas. Para que essa transformação ocorra de maneira eficaz, é essencial um planejamento estratégico que combine inovação tecnológica, legislação adequada e participação social, garantindo um futuro urbano mais inteligente e sustentável para as próximas gerações.

Conclusão

A crescente urbanização desordenada e os impactos severos das mudanças climáticas exigem estratégias inovadoras para fortalecer a resiliência urbana. A IA surge como uma ferramenta essencial na prevenção e mitigação de desastres ambientais, possibilitando um planejamento urbano mais sustentável e eficiente. No RS, onde as enchentes causam grandes prejuízos sociais e econômicos, a aplicação de modelagem preditiva, sensoriamento remoto e otimização da infraestrutura urbana é fundamental para reduzir os impactos desses eventos extremos.

A pesquisa demonstra que a IA pode atuar desde a análise preditiva de padrões climáticos até o desenvolvimento de infraestruturas inteligentes, garantindo maior eficiência na gestão de riscos. Soluções como cidades esponja, construções inteligentes e governança digital estão alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Climática), promovendo cidades mais adaptáveis às transformações ambientais.

Apesar do potencial da IA, desafios ainda precisam ser superados, como altos custos de implementação, necessidade de infraestrutura tecnológica avançada e capacitação profissional. Além disso, questões regulatórias e éticas, como a proteção de dados e transparência nas decisões baseadas em IA, são fundamentais para garantir o uso responsável dessas tecnologias. A integração da IA ao planejamento urbano não é apenas uma opção, mas uma necessidade urgente diante do cenário climático global. Para viabilizar essas inovações, é essencial a cooperação entre gestores públicos, setor privado, pesquisadores e sociedade civil, garantindo políticas públicas eficazes, incentivos fiscais para inovação e uma base jurídica sólida.

Conclui-se que a aplicação estratégica da IA pode revolucionar a gestão de riscos climáticos no RS, tornando as cidades mais preparadas, seguras e sustentáveis. Com o avanço da tecnologia e sua adoção em larga escala, o estado pode se tornar um modelo de inovação na adaptação climática, reduzindo significativamente os impactos das enchentes e promovendo um desenvolvimento urbano mais resiliente para as futuras gerações.

Referências

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em 12 de fev. de 2025.

BRASIL. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**,Brasília,DF,2011.Disponívelem: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm. Acesso em 09 de jan. de 2025.

BRASIL. Lei n° 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**,Brasília,DF,2001.Disponívelem: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em 06 de jan. de 2025.

BRASIL. lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011- 2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em 11 de jan. de 2025.

FERRI, Giovani. Planejamento urbano e desenvolvimento sustentável. Belo Horizonte, MG: 2024.

FIORILLO, Celso Antônio Pacheco. Inteligência Artificial e a Regulação das Empresas Transnacionais em Face da Tutela Jurídica Constitucional do Meio Ambiente Digital. São Paulo, SP: Lumen Juris, 2024.

GOVERNO FEDERAL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional reforça a necessidade de investimentos em medidas pré-desastres**. GOV, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/plano-nacional-reforca-a-necessidade- de-investimentos-em-medidas-pre-desastres-1. Acesso em 13 de jan. de 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Defesa Civil do Rio Grande do Sul realiza demonstração de nova ferramenta de alerta**. Rio Grande do Sul, RS: 2024. Disponível em: https://www.estado.rs.gov.br/defesa-civil-do-rio-grande-do-sul-realiza-demonstracao-de- nova-ferramenta-de-alerta. Acesso em 13 de jan. de 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Nações unidas do Brasil. **ONU-Habitat: populaçãomundialserá68%urbanaaté2050**.ONU,2022.Disponívelem: https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050. Acesso em 13 de jan. de 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Relatórios de sínteses,** 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o- mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/srcl-port-web.pdf. Acesso em 12 de jan. de 2025.

RECH, Adir Ubaldo. **Inteligência artificial, meio ambiente e cidades inteligentes**. E-book. CaxiasdoSul,RS:Educs,2020.Disponívelem: https://www.ucs.br/educs/arquivo/ebook/inteligencia-artificial-meio-ambiente-e-cidades- inteligentes/. Acesso em 09 de jan. de 2025.

VASCONCELLOS, Andréa. Infraestrutura Verde Aplicada ao Planejamento da Ocupação Urbana. Rio de Janeiro, RS: Appris, 2015.

XAVIER, José Tadeus Neves; ROCHA, Mariângela Guerreiro Milhoranza. **Inteligência Artificial: Processo Ambiental e Outros Estudos**. São Paulo, SP: Paixão Editores, 2020.

Acordo de Paris e NDCs: estudo da ambição climática e dos desafios da implementação

Jaqueline Rodrigues de Oliveira[1], Sandi Maís Schaedler[2], Talissa Truccolo Reato[3]

[1]Doutoranda em direito pelo Programa de Pós-graduação da Universidade de Caxias do Sul – UCS (jaqueline.rodrigues.academico@gmail.com)

[2] Graduanda em Direito pela Universidade de Caxias do Sul – UCS (smschaedler@ucs.br)

[3] Docente do Curso de Direito e do Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade de Caxias do Sul – UCS (ttreato@ucs.br)

Resumo: Este estudo analisa o Acordo de Paris e as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) à luz do direito ambiental, com enfoque nos avanços esperados para a Conferência das Partes (COP) 30, que será realizada no Brasil em 2025. O objetivo é identificar pontos fortes, desafios e propostas de melhoria no contexto da governança climática global. A metodologia baseia-se em uma revisão bibliográfica e na análise de dados recentes publicados por plataformas internacionais, além de documentos oficiais das COPs, pelo método dedutivo. O artigo está estruturado em três partes que contextualizam o tema e apresentam os objetivos a fim de discutir os aspectos jurídicos do Acordo de Paris e examinar os impactos ambientais das NDCs, também, o impacto das saídas dos EUA do Acordo. Sendo assim, ao avaliar os desafios políticos e diplomáticos envolvidos, o estudo conclui que, apesar dos avanços, é urgente fortalecer mecanismos de financiamento, sanções e justiça climática para garantir a eficácia das metas globais.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Governança ambiental. Acordo de Paris.

Paris Agreement and Nationally Determined Contributions (NDCs): study of climate ambition and implementation challenges

Abstract: This study analyzes the Paris Agreement and Nationally Determined Contributions (NDCs) in the light of environmental law, with an approach to the expected advances for the Conference of the Parties (COP) 30, which will be held in Brazil in 2025. The objective is to identify strengths, challenges and proposals for improvement in the context of global climate governance. The methodology is based on a bibliographical review and the analysis of recent data published by international platforms, in addition to official documents from the COPs, using the deductive method. The article is structured in three parts that contextualize the topic and present the objectives in order to discuss the legal aspects of the Paris Agreement and examine the environmental impacts

of NDCs, as well as the impact of the US withdrawal from the Agreement. Therefore, when evaluating the political and diplomatic challenges involved, the study concludes that, despite advances, it is urgent to strengthen financing, sanctions and climate justice mechanisms to guarantee the effectiveness of global goals.

Key words: Climate change. Environmental governance. Paris Agreement.

Introdução

As mudanças climáticas são uma das maiores crises globais, demandando soluções imediatas. O Acordo de Paris (de 2015) é um marco da governança climática internacional, propondo ações concretas para mitigar o aquecimento global. O principal mecanismo desse acordo são as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), por meio das quais os países se comprometem a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover medidas de adaptação. Este artigo busca explorar esses compromissos, analisando suas implicações e desafios.

A pesquisa adota uma abordagem interdisciplinar, uma vez que observa aspectos jurídicos, sociais, ambientais, políticos e diplomáticos que se relacionam fortemente. A escolha das COP 29 e 30 como contexto para o estudo não é arbitrária; esses eventos representam momentos estratégicos para revisar e aprimorar os compromissos globais, especialmente no que tange ao financiamento climático e à justiça climática.

Este estudo está organizado em três partes. No primeiro capítulo, discutem-se os aspectos jurídicos do Acordo de Paris, com ênfase em sua estrutura normativa e em lacunas que comprometem a sua eficácia. O segundo capítulo examina os impactos ambientais das NDCs, avaliando a adequação das metas atuais à luz dos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). O terceiro capítulo analisa os desafios políticos e diplomáticos envolvidos na implementação do Acordo de Paris, destacando, em especial, o impacto significativo das duas saídas dos Estados Unidos, que enfraqueceram o compromisso global e evidenciaram tensões entre as nações em relação às responsabilidades climáticas e à cooperação internacional.

O objetivo principal da pesquisa é identificar os avanços alcançados pelo Acordo de Paris e propor soluções para os desafios remanescentes. Entre os aspectos abordados, destaca-se a necessidade de metas mais ambiciosas, o fortalecimento dos mecanismos de financiamento e a criação de instrumentos efetivos de justiça climática. Espera-se que

este estudo contribua para o debate acadêmico e para a formulação de políticas públicas mais eficazes.

Ao final, a pesquisa visa também à geração de propostas concretas para aprimorar a governança climática global. Almeja-se que os resultados aqui apresentados sirvam como auxílio para discussões futuras, inclusive na COP 30, enfatizando a urgência de ações coordenadas e ambiciosas contra as mudanças climáticas.

Aspectos jurídicos do Acordo de Paris

O clima se transformou em política pública (Yergin, 2023). Sendo assim, o Acordo de Paris é um tratado internacional que combina metas globais com flexibilidade nacional. Seu principal objetivo é limitar o aumento da temperatura global abaixo de 2°C, com esforços para restringi-lo a 1,5°C abaixo do nível pré-industrial. As obrigações vinculantes incluem a apresentação e revisão periódica das NDCs e a transparência na comunicação de resultados. O Acordo tem relação direta com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13, que trata da ação contra a mudança global do clima, reforçando o compromisso com a redução das emissões de gases de efeito estufa, adaptação às mudanças climáticas, financiamento climático e cooperação internacional.

O ODS 13 incentiva ações climáticas nacionais, enquanto o Acordo de Paris fornece a estrutura internacional para orientar essas ações. Juntos, reforçam a cooperação entre países e setores para reduzir vulnerabilidades e impactos ambientais, destacando a importância de alinhar compromissos globais com ações locais para alcançar o desenvolvimento sustentável. Embora o acordo não preveja sanções diretas para o descumprimento das metas estabelecidas, ele institui um mecanismo de transparência robusto, essencial para monitorar e avaliar os avanços dos países signatários.

Apesar dos avanços, o Climate Action Tracker (2024) apontou que muitas das metas atualizadas pelos países ainda carecem da ambição necessária para limitar o aquecimento global a 1,5°C. O Acordo de Paris impulsionou a transição para uma economia de baixo carbono (Yergin, 2023), mas enfrenta críticas pela ausência de mecanismos coercitivos. Sem sanções concretas, países como Austrália e Brasil foram alvo de reprovação por retrocessos em suas políticas climáticas. Para Prolo (2024), o acordo também apresenta falhas quanto à responsabilização por perdas e danos. Desastres como as enchentes no Paquistão em

2022, que desalojaram milhões, evidenciam a urgência de instrumentos financeiros eficazes para adaptação e recuperação climática.

A integração entre o direito internacional e as políticas climáticas nacionais também é um desafio. Por exemplo, muitos países em desenvolvimento enfrentam dificuldades para implementar medidas devido à falta de recursos e tecnologia. De acordo com o relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico publicado em 2023 (OCDE, 2023), a promessa dos países desenvolvidos de mobilizar US$ 100 bilhões anuais, assumida em 2009 durante a COP 15 em Copenhague e reafirmada no Acordo de Paris em 2015, tem enfrentado dificuldades de cumprimento. No entanto, apenas cerca de 80% desse valor foi efetivamente mobilizado até o momento, representando uma lacuna significativa de financiamento. Ademais, é importante salientar que o Acordo de Paris não é exclusivo dos governos, tem alinhamento com organizações do setor financeiro (hoje consideram o risco climático para empréstimos, por exemplo) (Yergin, 2023).

Segundo Dowbor (2011), embora existam avanços no enfrentamento das mudanças climáticas, eles ainda são insuficientes, especialmente para países em desenvolvimento que dependem de financiamento externo para implementar ações de mitigação e adaptação. Setores como energia renovável, infraestrutura fortes e proteção contra desastres sofrem com a escassez de recursos, agravada pela falta de clareza sobre a origem e o uso dos fundos prometidos, o que gera desconfiança entre as nações mais vulneráveis. Além disso, o financiamento climático é distribuído de forma desigual: segundo o Climate Policy Initiative (CPI, 2025), apenas uma pequena parte é destinada à adaptação, enquanto a maior parte vai para mitigação, prejudicando regiões como ilhas e países do sul global, que enfrentam maior risco climático.

Essa defasagem no financiamento não só prejudica a implementação das NDCs, mas também compromete a confiança no processo de negociações climáticas. É imperativo que os países desenvolvidos cumpram integralmente seus compromissos financeiros e avancem para um novo patamar de mobilização de recursos, conforme discutiu-se na COP 29. Isso inclui não apenas alcançar os US$ 100 bilhões prometidos, mas também estabelecer mecanismos claros para perdas e danos, garantindo um suporte mais equitativo e eficaz às nações em desenvolvimento.

Avanços importantes foram feitos na criação de legislações nacionais alinhadas ao Acordo de Paris, como na França, que estabeleceu a

meta de zerar as emissões líquidas até 2050 (CEW, 2023). O Acordo ressalta a necessidade de cooperação e responsabilização global, mas enfrenta desafios que exigem mecanismos mais robustos de governança e monitoramento. Apesar da flexibilidade das NDCs ter ampliado a adesão dos países, critérios mínimos para metas e indicadores de desempenho poderiam aumentar a coerência e transparência do regime climático. Um órgão independente poderia supervisionar esse processo, emitindo relatórios e recomendações, enquanto mecanismos de sanção indireta, como a vinculação de financiamentos ao progresso climático, fortaleceriam o compromisso dos países sem comprometer sua soberania.

Quanto às desigualdades estruturais, é imprescindível reforçar o papel do financiamento climático e do suporte técnico aos países em desenvolvimento. O fortalecimento do Fundo Verde para o Clima e a simplificação dos processos de acesso a esses recursos são medidas prioritárias.

Essas iniciativas, combinadas com maior coordenação entre os países, contribuiriam para tornar o Acordo de Paris mais equitativo e eficaz, promovendo uma resposta global alinhada ao desafio urgente das mudanças climáticas. Contudo, avanços mais concretos dependem de reformas e do fortalecimento de mecanismos coercitivos e de financiamento. É preciso ter em mente que mesmo que haja o cumprimento eficaz do Acordo de Paris, significativos impactos das mudanças climáticas ocorrerão (como marés crescentes e padrões de chuvas alterados) (Guimarães, 2021).

Impactos ambientais das NDCs

As NDCs desempenham um papel essencial na mitigação das mudanças climáticas e na adaptação às suas consequências. Desde a adoção do Acordo de Paris em 2015, avanços importantes foram alcançados, como o aumento na quantidade de países comprometidos com a transição para uma economia de baixo carbono.

No entanto, os relatórios mais recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas destacam que os compromissos atuais permanecem significativamente aquém do necessário para limitar o aquecimento global a 1,5°C até o final do século. Com base nas metas submetidas até o momento, projeta-se um aumento médio da temperatura global de 2,7°C (IPCC, 2024), cenário que poderia desencadear

impactos devastadores, incluindo a perda irreparável de ecossistemas essenciais e consequências severas para populações vulneráveis em todo o mundo. Esses resultados reforçam a urgência de metas mais ambiciosas e ações climáticas efetivas.

De acordo com Nicholas Stern (2007), as emissões podem ser reduzidas com o aumento da eficiência energética, das mudanças da demanda e da adoção de tecnologias limpas de energia, aquecimento e transporte. Stern assevera que com escolhas políticas firmes e planejadas é possível reduzir as emissões tanto nas economias desenvolvidas como nas em desenvolvimento, na escala necessária para a estabilização, e ainda continuar crescendo.

Entretanto, se a economia global continuar a ter como base o combustível fóssil até 2050, serão necessários extensa captura e armazenamento de carbono, assim como cortes em emissões não energéticas, como as resultantes do desmatamento e dos processos agrícolas e industriais. O aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos é uma das consequências mais alarmantes. Nos anos de 2023 e 2024, desastres relacionados ao clima, como enchentes e ondas de calor, causaram prejuízos superiores a US$ 300 bilhões globalmente, segundo o Banco Mundial (Carbono Zero, 2025).

A desigualdade na contribuição e nos impactos climáticos compromete a eficácia do Acordo de Paris, refletindo disparidades históricas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nações industrializadas, principais responsáveis pelas emissões históricas, devem liderar a mitigação e o financiamento climático, mas os países em desenvolvimento, mais vulneráveis a eventos extremos, seguem recebendo apoio insuficiente. A saída dos EUA do Acordo durante o governo Trump agravou essa desigualdade, enfraquecendo o equilíbrio diplomático e reduzindo o financiamento climático (NYS, 2024). Como maior emissor histórico, a retirada dos EUA enviou um sinal negativo à comunidade internacional e prejudicou a confiança entre nações. Com a nova saída em 2025, o desafio político se repete, ameaçando o compromisso global com a ação climática (G1, 2025).

A implementação de soluções baseadas na natureza (SBN) é outro aspecto relevante. Projetos de restauração florestal, como o Compromisso de Bonn, visam restaurar 350 milhões de hectares de terras degradadas até 2030, contribuindo para a captura de carbono e a proteção da biodiversidade (Calixto; Oliveira, 2020). Além disso, a

cooperação internacional para tecnologia limpa tem avançado. A queda nos custos de produção de painéis solares e turbinas eólicas torna essas soluções mais acessíveis, incentivando a adoção em larga escala.

Embora as NDCs sejam uma ferramenta essencial, é necessário aumentar a ambição das metas e garantir mecanismos de financiamento e apoio técnico para países em desenvolvimento. Somente com um esforço coletivo é possível mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover um futuro mais sustentável. Neste ponto, acrescenta-se que a maior parte dos países perderam em 2025 o prazo para apresentar as suas promessas climáticas para 2035 à ONU (Dunne, 2025). Isso significa uma falta de comprometimento das metas climáticas globais, uma redução da ambição climática, impactando sobretudo nas negociações internacionais. Salienta-se que o Brasil foi o segundo país a apresentar as metas (o que ocorreu em novembro de 2024) (Brasil, 2024), as quais foram por muitos criticadas por insuficiência, mas por outros prestigiadas.

Reflexões sobre os desafios políticos e diplomáticos

A implementação do Acordo de Paris exige forte cooperação internacional, mas enfrenta obstáculos devido às divergências políticas, econômicas e sociais entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. As tensões decorrem de responsabilidades históricas desiguais pelas emissões e da disparidade na capacidade financeira para enfrentar a crise climática. Enquanto países desenvolvidos resistem a assumir compromissos mais robustos, os em desenvolvimento exigem maior apoio para lidar com os impactos já sentidos.

As COP 28 e 29, realizadas nos anos de 2023 e 2024, avançaram nas discussões sobre perdas e danos, resultando na criação de um fundo específico para apoiar países vulneráveis. No entanto, ainda há incertezas sobre a mobilização e distribuição desses recursos. Segundo a UNFCCC (2021), as perdas e danos nos países em desenvolvimento podem ultrapassar US$ 290 bilhões anuais até 2030, reforçando a urgência de um financiamento climático eficaz.

Os movimentos sociais desempenham um papel crucial na superação desses impasses diplomáticos, pressionando governos e empresas a adotar políticas mais ambiciosas. Organizações como Fridays for Future e Extinction Rebellion têm mobilizado milhões de pessoas em todo o mundo, destacando a necessidade de ações climáticas urgentes

e expondo a inércia política (Chamarelli, 2023). Essas iniciativas têm influenciado discussões em fóruns globais, como a COP, ao demandar maior transparência, responsabilidade e ambição nas metas climáticas.

Outro desafio importante surgiu neste ano de 2025, com o anúncio dos Estados Unidos de sua segunda saída do Acordo de Paris, desta vez durante o governo seguinte à administração Biden. Essa decisão causou um novo abalo nas negociações climáticas globais, gerando preocupação sobre a continuidade dos compromissos financeiros e políticos assumidos pela maior economia do mundo. De acordo com Osborne (2025), o impacto dessa saída se reflete não apenas na redução direta de financiamentos climáticos, mas também no enfraquecimento da liderança global em questões ambientais. Além disso, essa nova retirada ameaça desencadear um efeito dominó, incentivando outros países a relaxarem suas metas climáticas ou abandonarem suas responsabilidades sob o pretexto de desigualdade nas ações globais.

A segunda saída dos EUA também revelou a fragilidade estrutural do Acordo de Paris, que depende de compromissos voluntários e da boa vontade política de seus signatários. Apesar de os mecanismos de transparência e revisão periódica buscarem fomentar o cumprimento das metas, a ausência de sanções jurídicas para nações que não cumprem ou abandonam suas responsabilidades demonstra a necessidade de reformar o Acordo. Sem um sistema que assegure a permanência e a seriedade dos compromissos, o Acordo de Paris corre o risco de perder sua relevância como principal instrumento para conter o aumento da temperatura global.

Essa saída suscita preocupação no contexto atual, considerando sua posição como potência econômico, podendo desencadear uma redução no engajamento de outras nações. Por exemplo, o governo atual da Argentina de Javier Milei considera retirar o país do Acordo de Paris (Oswald, 2025). Além disso, a rivalidade geopolítica entre grandes potências, como Estados Unidos e China, adiciona complexidade às negociações climáticas. Enquanto ambos são os maiores emissores globais, suas disputas comerciais e estratégicas frequentemente dificultam acordos multilaterais. A ausência de cooperação efetiva entre essas nações pode inviabilizar o alcance das metas climáticas globais, uma vez que juntos respondem por cerca de 40% das emissões de gases de efeito estufa, conforme dados do Climate Watch (Climate Watch, 2024).

Para a implementação plena do Acordo de Paris é fundamental superar desafios diplomáticos com diálogo, compromissos financeiros e cooperação tecnológica. A COP 30, no Brasil, em 2025 é uma oportunidade crucial para fortalecer a governança climática global, redefinir prioridades e garantir que o financiamento e a justiça climática sejam prioridades centrais, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas e assegurar um futuro sustentável. Outrossim, é importante asseverar que a COP 30 é uma oportunidade para o Brasil mostrar liderança ambiental, especialmente no combate ao desmatamento e na transição para uma economia de baixo carbono.

Considerações finais

O Acordo de Paris e as NDCs representam avanços significativos na luta global contra as mudanças climáticas. No entanto, o progresso alcançado até o momento ainda é insuficiente diante da urgência e magnitude dos desafios climáticos. A lacuna entre os compromissos assumidos e as metas necessárias para limitar o aquecimento global a 1,5°C – 2,0ºC exige ações mais ambiciosas e coordenadas. Isso inclui a revisão e fortalecimento das metas das NDCs, bem como a ampliação do apoio financeiro e técnico para países em desenvolvimento.

Ademais, a criação de instrumentos jurídicos mais rígidos para monitoramento e responsabilização dos países que não cumprem suas metas, aliada à ampliação do financiamento climático, é determinante para alcançar os objetivos propostos. O fortalecimento da cooperação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, por meio de políticas mais equitativas e sustentáveis, deve ser prioridade nas próximas negociações climáticas, especialmente na COP 30.

Os desafios políticos e diplomáticos evidenciados neste estudo ressaltam a urgência de uma cooperação internacional efetiva e transparente para enfrentar as mudanças climáticas. A falta de consenso sobre o financiamento climático, a distribuição desigual de recursos e a resistência de países em assumir responsabilidades proporcionais às suas emissões históricas são entraves significativos.

Este estudo destaca que a superação das mudanças climáticas exige cooperação internacional transparente, financiamento justo e responsabilidades proporcionais às emissões históricas. A transição para uma economia de baixo carbono depende da capacidade real dos países, do engajamento social e da inovação tecnológica. O texto reforça a impor-

tância de ações integradas entre governos, setor privado e sociedade civil, oferecendo subsídios para políticas climáticas mais eficazes.

Referências

BRASIL. **Brasil apresenta sua nova meta climática alinhada à Missão 1,5ºC.** Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2024/11/brasil-apresenta- sua-nova-meta-climatica-alinhada-a-missao-1-5 Acesso em: 08 abr. 2025.

CALIXTO, Bruno; OLIVEIRA, Mariana. Desafio de Bonn: as iniciativas que contribuem para o Brasil se tornar líder na restauração. **WRI Brasil**, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/desafio-de-bonn-iniciativas-que-contribuem-para-o- brasilse-tornar-lider-na- restauracao#:~:text=Em%20 2011%2C%20o%20governo%20da,outros%20esfor%C3%A7os%2 0de%20 iniciativas%20regionais. Acesso em: 21 de jan. 2025.

CARBONO ZERO. Sustentabilidade e meio ambiente. Desastres climáticos de 2024 causam prejuízo de US$ 229 bilhões e expõem desigualdades globais. **Um só Planeta. Climainfo**, 2025. Disponível em: https://carbonozero.net/desastres-climaticos-de-2024-causam-prejuizo-de-us229- bilhoes-e-expoem-desigualdades-globais/. Acesso em: 21 de jan. de 2025.

CHAMARELLI, Renata. ONU: Custos de adaptação aos efeitos da mudança climática podem chegar a US$387 bilhões por ano. **Nações unidas do Brasil**, 2023. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/251535-onu-custos-de-adapta%C3%A7%C3%A3o-aos-efeitos- damudan%C3%A7a-clim%C3%A1tica-podem-chegar-us387-bilh%C3%B5es-por-ano.Acesso em: 21 de jan. de 2025.

CLEAN ENERGY WIRE. **Jornalismo para a transição energética**: Ficha informativa de Perguntas e respostas: COP28 e o compromisso de financiamento climático de 100 bilhões de dólares americanos, 2023. Disponível em: https://www-cleanenergywire- org.translate.goog/factsheets/qa-cop28-and-100-billion-us-dollar-climate- financecommitment?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=Global,P erguntas%20e%20respostas:%20COP28%20e%20o%20compromisso%20de%20financiament o%20clim%C3%A1tico,100%20bilh%C3%B5es%20de%20d%C3%B3lares%20americanos&text=Duas%20semanas%20antes%20do%20in%C3%ADcio,clim%C3%A1tico%20na%20COP28% 20em%20Dubai. Acesso em: 20 de jan. 2025.

CLIMATE ACTION TRACKER. **O Rastreador de Ação Climática**, 2024. Disponível em: https://climateactiontracker.org/about/. Acesso em: 21 de jan. de 2025.

CLIMATE POLICY INITIATIVE. **2025 OECD Conference on Private Finance for Sustainable Development**. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/event/2025oecd-conference-on-private-finance-for- sustainable-development/. Acesso em: 21 jan. 2025.

DOWBOR, Ladislau. Alternativas inteligentes ao uso de energia. In: ROVERE, Emilio Lèbre La; ROSA, Luiz Pinguelli; DOWBOR, Ladislau; SACHS, Ignacy. **Energias renováveis no Brasil:** desafios e oportunidades. Editora Brasileira, 2011, p. 129-172.

DUNNE, Margarida. **Analysis: 95% of countries miss UN deadline to submit 2035 climate pledges.** Disponível em: Analysis: 95% of countries miss UN deadline to submit 2035 climate pledges – Carbon Brief Acesso em: 08 abr. 2025.

GUIMARÃES, Leonam dos Santos. A geopolítica da energia de baixo carbono. In: GOÉS, Guilherme Sandoval. **A geopolítica da energia no século XXI.** Ana Carolina Chaves. 1 ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2021, p. 01-36.

IISDO. Earth Mrgotiations Bulletin. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças **Climáticas–UNFCCC**,2021.Disponívelem:https://enb-iisd-org.translate.goog/negotiations/un-framework-convention-climate-changeunfccc?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=Sess%C3%B5e s%20de%202021%20dos%20%C3%93rg%C3%A3os,capturado%20em%20uma%20nota%20informal.. Acesso em: 21 de jan. 2025.

NEW YORK STATE. **Greenhouse gas emissions reduction**. 2024. Disponível em: https://www.nyserda.ny.gov/Impact-Greenhouse-Gas-Emissions- Reduction?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAneK8BhAVEiwAoy2HYbEDn2mWiYvytZ3aFsUrDEY-DQgiq7orGUERxbsnkmeihAh2IAUbARoCvbsQAvD_BwE. Acesso em 28 de jan. de 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Climate resilience, access to finance and regional integration are the keys to unleashing the potential of Caribbean economies**, 2024. Disponíevle em: https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2024/12/climate-resilience-access- tofinance-and-regional-integration-are-the-keys-to-unleashing-the-potential-of- caribbeaneconomies.html. Acesso em: 12 de jan. 2025.

OSBORNE, Louise. **Como saída dos EUA do Acordo de Paris impacta o mundo.** Deutsche Well, 21 de jan. 2025. Disponível em: https://www.dw.com/pt-br/como-sa%C3%ADda-dos-eua- do-acordo-de-paris-impacta-o-mundo/a-71362977#:~:text=Uma%20retirada%20dos%20EUA%20do,%2C%20devastador%22%2C%20d isse%20ela. Acesso em 10 de abr. 2025.

OSWALD, Vivian. **Quanto custa à Argentina deixar o Acordo de Paris?** Publicado em: 05 fev. 2025. Disponível em: https://www.jota.info/tributos-e-empresas/mercado/quanto-custa- aargentina-deixar-o-acordo-de-paris.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sexagésima segunda sessão do IPCC** (IPCC-62), 2024. Disponível em: https://www.ipcc.ch/meetingdoc/ipcc-62/. Acesso: em 21 de jan. 2025.

PROLO, Caroline. Órgãos do acordo de Paris. In.: Angelo, Claudio. et. al. **Acordo de Paris:** Um guia para os perplexos. Observatório do Clima & LACLIMA, 2024. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/09/Financiando-o-Futuro-Acordo-de- ParisUm-guia-para-os-perplexos-2024.pdf. Acesso em: 19 de jan. 2025.

STERN, Nicholas. **The economics of climate change:** the Stern review, 2007.

YERGIN, Daniel. **O novo mapa:** energia, clima e o conflito entre nações. 2023.

Automatização do *download* de dados telemétricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Miguel Brondani, Gustavo Schefelbanis Araujo, Luize Baldoni de Oliveira, Samantha Gomes Lorenzi, Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Universidade Federal de Santa Maria (mibrondani@inf.ufsm.br; gustavo.esa@hotmail.com; oliveira.luize@acad.ufsm.br; samantha.lorenzi@acad.ufsm.br; dga@ufsm.br)

Resumo: O monitoramento dos recursos hídricos é fundamental para o planejamento e a gestão sustentável da água, especialmente diante da variabilidade hidrológica e dos conflitos pelo uso desse recurso. No Brasil, a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), coleta dados como chuvas, vazões e qualidade da água, por meio de estações telemétricas. Esses dados são disponibilizados nos sistemas Hidroweb e Hidro-Telemetria, mas o processo de download manual de grandes séries históricas de diferentes estações pode ser demorado e pouco eficiente. Para otimizar essa etapa, foi desenvolvido o software AccessHidroAPI (AHAPI), que automatiza o download dos dados hidrológicos. Desenvolvido em *Python*, o AHAPI utiliza uma abordagem assíncrona para realizar múltiplos downloads simultâneos, reduzindo significativamente o tempo de obtenção dos dados. O software é de código aberto, disponível no GitHub, e permite a consulta de dados de estações específicas em períodos definidos pelo usuário. Testes demonstraram que o AHAPI é mais ágil ao baixar grandes séries históricas em comparação com processos manuais. Ele foi capaz de baixar 30 anos de 20 estações diferentes em menos de 15 minutos, sem divergência nos dados obtidos nos portais oficiais. Essa ferramenta contribui para a eficiência e a reprodutibilidade de estudos hidrológicos, além de facilitar o acesso a informações críticas para a gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Hidroweb; Telemetria; Monitoramento.

Automation of telemetric data from the National Water Agency

Abstract: Monitoring of water resources is essential for sustainable water planning and management, especially in the face of hydrological variability and conflicts over resource use. In Brazil, the National Hydrometeorological Network (RHN), coordinated by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), collects data such as rainfall, streamflow, and water quality through telemetric stations. This data is made available through the Hidroweb and Hidro-Telemetry systems, but manually downloading large historical

datasets from multiple stations can be time-consuming and inefficient. To optimize this process, the AccessHidroAPI (AHAPI) software was developed to automate the retrieval of hydrological data. Built in *Python*, AHAPI employs an asynchronous approach to perform multiple simultaneous downloads, significantly reducing the time required to obtain the data. The software is open-source, available on GitHub, and allows users to query specific stations' data for user-defined time periods. Tests have demonstrated that AHAPI is faster when downloading large historical datasets compared to manual processes. It successfully downloaded 30 years of data from 20 different stations in under 15 minutes, with no discrepancies compared to data from official portals. This tool enhances the efficiency and reproducibility of hydrological studies while facilitating access to critical information for water resource management.

Key words: Hidroweb; Telemetry; Monitoring

Introdução

O monitoramento dos recursos hídricos é indispensável para o planejamento e o desenvolvimento de ações e infraestruturas que têm a água como elemento central. Gerir esse recurso de forma eficaz implica formular, planejar, implementar e decidir sobre o uso, o controle e a proteção das águas (Marques, 2019). Para isso, é fundamental considerar aspectos como a variabilidade natural do processo hidrológico, a disponibilidade hídrica, os conflitos pelo uso da água e a flexibilização de restrições, sendo o sistema de monitoramento crucial para fornecer subsídios à identificação de situações críticas, como cheias e secas, por meio de sistemas de informação (Oliveira; Damázio; Mascarenhas, 2003).

No Brasil, o mecanismo de maior relevância no monitoramento das águas superficiais é estruturado por uma rede hidrometeorológica composta de estações hidrométricas (SEMA, 2024). Por meio dessas estações, é possível obter dados sobre variáveis como volume de chuvas, evaporação, nível e vazão dos rios, quantidade de sedimentos e qualidade da água, que podem ser utilizados para a realização de estudos, elaboração de políticas públicas, identificação de potencial energético, análise da disponibilidade hídrica, entre outras finalidades (ANA, 2019). O download e o pré-processamento desses dados também desempenham um papel fundamental como insumo para a calibração e execução de modelos hidrológicos, destacando sua grande importância para a área (Calegario *et al.*, 2024).

A Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), supervisionada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conta com

centenas de estações hidroclimáticas, distribuídas por todo território nacional e que podem ser operadas e mantidas por diferentes órgãos, públicos ou privados, por meio de acordos de cooperação, termos ou contratos (ANA-CPRM, 2017). Os portais web Hidroweb e Sistema Hidro-Telemetria, que integram o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), sob a responsabilidade da ANA, são os principais meios de acesso ao banco de dados hidrológicos através da qual se obtêm as informações disponibilizadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

Embora o Hidroweb disponibilize uma ampla gama de dados, o processo de obtenção, que exige o download individual de cada estação de interesse, pode ser um processo demorado devido às limitações do aplicativo. Nesse contexto, a automatização dessa etapa surge como uma solução importante para auxiliar os usuários da ferramenta (Fontoura *et al.*, 2016). O mesmo pode ser observado no Sistema Hidro-Telemetria.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um software para otimizar e agilizar o download e acesso de séries históricas de dados hidrológicos, incluindo níveis fluviais, vazões e precipitações. Esses dados são coletados diretamente da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), composta por órgãos e entidades públicas e privadas, sob a coordenação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e poderão ser utilizados em diversos fins como modelagens hidroambientais, planejamento e desenvolvimento de infraestruturas.

Materiais e Métodos

O software, nomeado de AccessHidroAPI (AHAPI), foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python. Todas as versões dele estão disponíveis na plataforma GitHub através do link (https://github.com/mBrond/AccessHidroAPI/). A plataforma em questão permite o armazenamento de códigos-fonte abertos ao público (open-source), como também estimula a colaboração de diferentes desenvolvedores nos projetos disponibilizados. Armazenar o código do AHAPI dentro do GitHub é uma forma de garantir transparência no desenvolvimento, possibilitar a auditoria e revisão por outros desenvolvedores, além de promover a colaboração ativa da comunidade. Essa prática também facilita o controle de versões e a gestão de mudanças, assegurando que o código seja acessível e contribuindo para o aprimoramento contínuo do

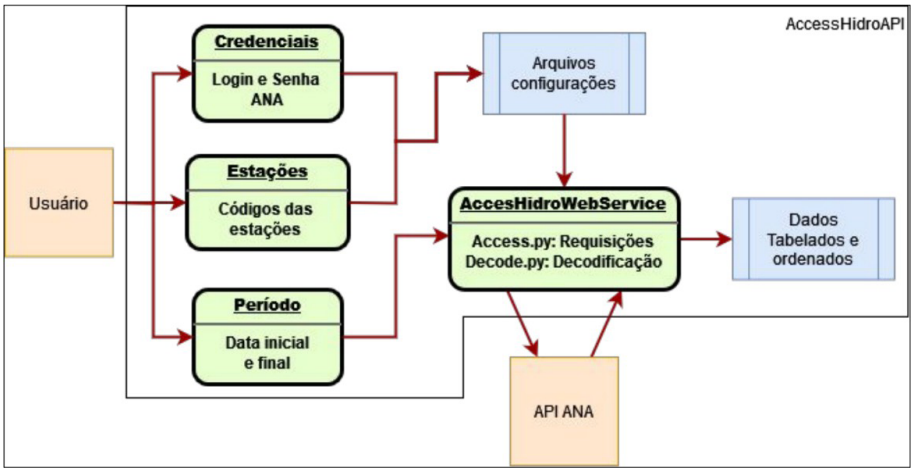
projeto. O código-fonte também está disponível no repositório Zenodo (BRONDANI, 2025).

A principal funcionalidade do AHAPI é a capacidade de download de registros de longos períodos de tempo provenientes de diferentes estações telemétricas. Todo processo de download é gerenciado pelo AccessHidroWebService. Desenvolvido de forma externa ao AHAPI, o AccesHidroWebService é o módulo responsável por toda comunicação e troca de informações com o servidor da ANA. O propósito principal de um módulo é organizar o código de forma reutilizável e legível, dividindo programas maiores em partes menores e mais gerenciáveis (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2025). O módulo foi planejado para utilizar uma abordagem assíncrona nas solicitações de dados, se comunicando através do Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP). Desenvolvido com a biblioteca python AIOHTTP, as solicitações HTTP são realizadas em conjuntos de até vinte tarefas concomitantes. Desta forma, múltiplos downloads são feitos simultaneamente e independentes um do outro. Entretanto, seu funcionamento é totalmente dependente da utilização de uma Interface de Programação da Aplicação (API) disponibilizada pela ANA. APIs são mecanismos que utilizam de protocolos pré-definidos para comunicação entre dois componentes de sistema diferentes (AWS, s.d.). A utilização da API é restrita, sendo necessário entrar em contato com a agência para solicitar acesso (Agência Nacional de Águas, s.d.).

É necessário que o usuário defina o código das estações a serem consultadas, sendo necessário conhecimento prévio deles, pois o AHAPI não dispõe. Com a inserção de uma data inicial e outra final, o usuário é capaz de solicitar os dados referentes ao período para todas as estações descritas no arquivo ‘estacoes.txt’. Conforme os downloads são concluídos, as informações são salvas em arquivos de texto. Tais arquivos são nomeados com o código da estação e o período de tempo que concernem aos dados.

Na Figura 1, é demonstrado o fluxo de como todas as diferentes informações são processadas, utilizadas e salvas dentro do programa.

Figura 1 – Fluxograma de Dados do *AHAPI*



Fonte: Autor

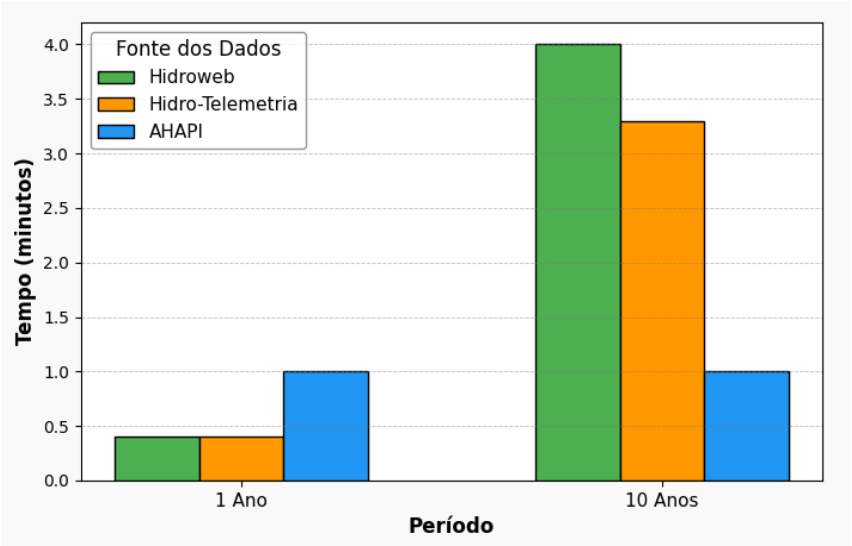
Para avaliar a efetividade do AHAPI, foi aplicado um teste funcional referente ao tempo de obtenção dos dados. Testes funcionais de softwares são indiferentes ao código-fonte, apenas fornecendo valores de entrada e recebendo outros de saída para análise (DIAS NETO, 2007). Diferentes quantidades de estações e anos foram utilizados nos parâmetros de entrada: 1, 5, 10, 20 e 30 anos, e 1, 5, 10 e 20 estações. Combinações foram feitas com os parâmetros para obter o tempo de execução dos downloads. Também foi cronometrado o tempo de download pelo processo manual dos portais Hidroweb e Hidro-Telemetria. Considerou-se a possibilidade de utilizar as mesmas variáveis de estações e anos nos experimentos manuais. Entretanto a existência de limitações de download em cada portal, permitindo a obtenção de, no máximo, um ano de dados por requisição, e o elevado número de combinações possíveis entre períodos e estações, tornam o processo exaustivo e inviável. Por esse motivo, optou-se por restringir a análise a uma estação e aos períodos de 1 e 10 anos.

Resultados e Discussão

A abordagem de solicitações concomitantes ao servidor da ANA mostrou-se efetiva e satisfatória. Na figura 2 é possível observar os resultados, com valores aproximados, do tempo de download de um e dez anos nos sistemas Hidroweb, Hidro-Telemetria e AHAPI para uma estação. No menor período o AHAPI demorou mais de 100% do tempo

gasto pelos sistemas manuais. Apenas aumentando o período histórico a real eficiência do programa é obtida. Decuplicando a série, o tempo dos downloads automatizados foi de até 75% menor que os manuais.

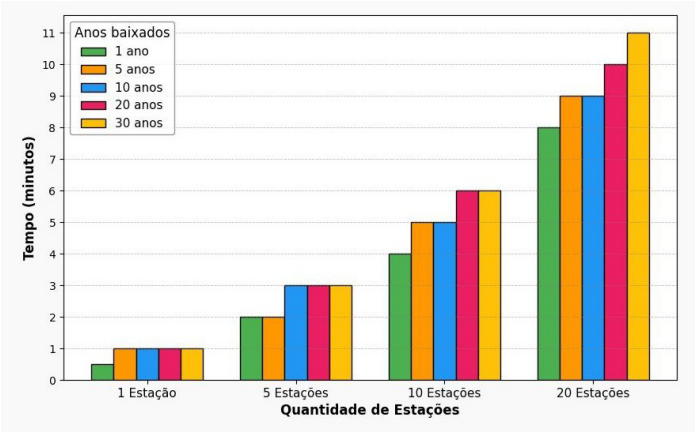
Figura 2 – Tempo para download de dados



Fonte: Autor

Apesar da inviabilidade de vários testes manuais, o AHAPI é capaz de ser testado com todas as combinações de período e número de estações, aproveitando sua capacidade de realizar múltiplos downloads e processar grandes volumes de dados de forma automatizada. Essa abordagem permitiu verificar sua eficiência em cenários mais complexos, oferecendo uma visão abrangente sobre o desempenho da ferramenta. Através dos resultados disponíveis na Figura 3, podemos inferir que o tempo é relativamente constante para diferentes valores de anos para um número menor de estações, ao passo que há mais variação conforme aumentam as estações.

Figura 3 – Tempo de download do AHAPI com diferentes períodos e amostras de estações



Fonte: Autor

Após o download foi realizada uma conferência nos dados para observar possíveis divergências. As medições obtidas, como também os períodos em que não houve retorno de dados, são idênticos. Os arquivos onde ficam salvas as credenciais, estações, e uma pasta para os dados são criados e checados em toda nova execução do programa, evitando eventuais erros durante sua utilização.

O armazenamento de forma local das credenciais para acesso à API podem ser comprometidas caso algum terceiro tenha acesso ao computador do usuário. Entretanto tal abordagem facilita a utilização constante do programa. O programa não possui interface gráfica. A interação com o software ocorre diretamente via Linha de Comando (CLI), Figura 2. As operações são mostradas na CLI, por onde também é feita a entrada do comando e informações desejadas.

Figura 4 – Comandos principais do AHAPI na Linha de Comando

```
-----
 Versão 1.1.0 - Ecotecnologias - Miguel Brondani

0. Sair
1. Atualizar credenciais
2. Atualizar estacoes
3. Data única (Detalhada)
4. Data única (Adotada)
5. Período (Detalhada)
6. Período (Adotada)
7. Mostrar credenciais salvas
8. Alterar quantidade downloads assíncronos
```

Fonte: Autor

As operações referentes a edições das estações telemétricas desejadas para consulta de dados podem ser feitas manualmente, apenas sendo necessário alterar o arquivo 'estacoes.txt', seguindo o padrão de um código por linha. Ademais, nenhum outro arquivo deve ser modificado. Foram criadas validações para as informações inseridas pelos usuários, tais como conferir se uma data inserida existe, ou se o código de uma estação não possui letras.

Conclusão

A metodologia apresentada mostrou-se eficaz no desenvolvimento do programa de computador idealizado. O código open-source do programa permite que novos aprimoramentos sejam implementados ou sugeridos por outros usuários através da plataforma GitHub. Ao mesmo tempo, a abordagem de downloads concomitantes otimiza o tempo de espera na obtenção de extensas séries históricas de variadas estações. A inclusão dos resultados obtidos com o software desenvolvido é essencial para destacar sua eficiência em relação ao método manual. Além disso, essa análise objetiva reforça a contribuição prática deste trabalho para a comunidade científica, ao oferecer uma ferramenta que pode reduzir significativamente o tempo e o esforço necessários para a obtenção de dados em grandes volumes.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Hidroweb**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/acesso-api. Acesso em: 22 jan. 2025

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Rede Hidrometeorológica Nacional.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/f85dbf06-a869-414c-afc5-bb01869 e9156. Acesso em: 22 jan. 2025.

AMAZON WEB SERVICES (AWS). **O que é uma API (interface de programação de aplicações)?** Disponível em: https://aws.amazon.com/pt/what-is/api/. Acesso em: 22 jan. 2025.

BRONDANI, Miguel. AccessHidroAPI: v1.1.1 – Zenodo (v1.1.1). Zenodo. Disponível em: https://doi.org/10.5281/zenodo.14759294. Acesso em: 29 jan. 2025.

CALEGARIO, A. T. *et al.* Download e pré-processamento de dados hidroclimáticos do Hidroweb/ANA com o pacote Hydrobr. In: SIMPÓSIO RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 17., 2024, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: ABRHidro, 2024. Disponível em: http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4800. Acesso em: 22 jan. 2025.

DIAS NETO, Arilo Cláudio. Introdução a Testes de Software. **Engenharia de Software Magazine**, Ano 1, n. 1, p. 54-59, 2007. Impresso no Brasil. Disponível em: https://datassette.org/revistas/engenharia-de-software-magazine-br-brasil-informatica-revistas/e ngenharia-de-software-01. Acesso em 28 jan. 2025.

FONTOURA, Jéssica Ribeiro; ALLASIA, Daniel Gustavo Piccilli; TASSI, Rutinéia; GELLER, Vitor Gustavo; FAVARETTO, Jean Ricardo; FROEMMING, Gabriel Herbstrith. Geoferramenta para aquisição automática de dados pluviométricos a partir do QGIS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: Embrapa Informática Agropecuária/ INPE, 2016. p. 493-500. Disponível em:https://www.researchgate.net/ publication/315090444_Geoferramenta_para_Aquisicao_Automa tica_de_Dados_ Pluviometricos_a_partir_do_QGIS. Acesso em: 22 jan. 2025.

MARQUES, G. **O que é gestão dos recursos hídricos?** IPH/UFRGS, 2019. Disponível em: https://www.ufrgs.br/gespla/2019/05/29/o-que-e-gestao-rec-hidricos/#:~:text=Gest%C3%A3 o%20dos%20recursos%20h%C3%ADdricos%20 inclui,prote%C3%A7%C3%A3o%20d%C3%A 1%20%C3%A1gua%20 enquanto%20recurso. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA, L. C. K.; DAMAZIO, J. M.; MASCARENHAS, F. C. B. Disseminação de dados de monitoramento hidrometeorológico e de previsão de vazões – reflexões. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ABRHidro, 2003. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/ job.php?Job=11955. Acesso em: 22 jan. 2025.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **The Python Tutorial, Chapter 5:** Modules. 2025. Disponível em: https://docs.python.org/3/tutorial/modules.html. Acesso em: 23 jan. 2025.

SEMA. **Relatório de Diretrizes da Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (PERH).** Rio Grande do Sul, RS, 2024. Disponível em: https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/25153503-relatorio-diretrizes-perh.pdf. Acesso em: 22 jan. 2025.

Avaliação da qualidade da água de uma represa de captação utilizando o Índice de Conformidade ao Enquadramento

Patrícia Buffon[1], Marcia dos Santos Ramos Berreta[2], Janaina Ribeiro Velho[3]

[1]*Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul /UERGS-PPGAS (pbuffon@samaecaxias.com.br)*

[2] *Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS /Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade – PPGAS (marcia-berreta@uergs.edu.br)*

[3]*Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul (jvelho@samaecaxias.com.br)*

Resumo: As atividades humanas impactam todos os ecossistemas aquáticos continentais, podendo resultar em problemas como a toxicidade das águas e o aumento dos custos de tratamento para garantir os padrões de potabilidade. A eutrofização, especialmente a antrópica, é um dos principais efeitos negativos, levando ao envelhecimento precoce dos ambientes aquáticos e à deterioração da qualidade da água bruta. Este estudo utiliza o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para avaliar a qualidade da água de uma represa de captação de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul. A análise abrange o período desde o início da operação da represa, em 2014, até 2024, considerando variáveis que afetam o tratamento da água. Os resultados mostram que a qualidade da água variou entre as classes "Regular" e "Boa", com uma leve tendência de melhora ao longo dos anos. O manganês total foi o principal parâmetro que contribuiu para a piora do ICE, frequentemente ultrapassando o limite de 0,1 mg/L. A origem do manganês pode ser tanto natural quanto antrópica. Em 2024, a represa apresentou o menor valor de ICE, coincidente com um ano de alta pluviosidade, que pode ter contribuído para o aumento da concentração de manganês no manancial.

Palavras-chave: Ecossistemas aquáticos. Eutrofização. Água Bruta.

Water quality assessment in a catchment dam using the Framework Conformity Index

Abstract: Human activities impact all continental aquatic ecosystems and can result in problems such as water toxicity and increased treatment costs to ensure potability standards. Eutrophication, especially anthropogenic eutrophication, is one of the main negative effects, leading to premature aging of aquatic environments and deterioration of natural water quality. This study uses the Framework Conformity Index (FCI) o assess the water quality of a catchment dam in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. The analysis covers the period from the dam's start of operation in 2014 to 2024, considering variables

that affect water treatment. The results show that water quality ranged from "Regular" to "Good", with a slight trend of improvement over the years. Total manganese was the main parameter that contributed to the worsening of the FCI, frequently exceeding the limit of 0.1 mg/L. Manganese can be of both natural and anthropogenic origin. In 2024, the dam presented the lowest FCI value, coinciding with a year of high rainfall, which may have contributed to the increase in the concentration of manganese in the source.

Key words: Aquatic ecosystems. Eutrophication. Natural water.

Introdução

Todos os ecossistemas aquáticos continentais são afetados pelas atividades humanas. Estes impactos podem ser verificados em todas as bacias hidrográficas do Brasil, em maior ou menor intensidade, podendo resultar em problemas como o aumento da toxicidade de águas superficiais e subterrâneas e dos organismos aquáticos; maiores custos de tratamento para produção de água que atenda aos padrões de potabilidade; impactos na saúde humana, gerando mais gastos econômicos com tratamentos e internações e risco de vulnerabilidade das populações humanas (Tundisi, 2014).

Entre os impactos qualitativos e quantitativos que ocorrem em rios, lagos e represas, a eutrofização é um dos mais importantes (Tundisi, 2014). O processo de eutrofização ocorre com o aumento da concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, nos ambientes aquáticos e tem como consequência o aumento de sua produtividade. A eutrofização artificial ou antrópica é aquela causada pelas atividades humanas e resulta no envelhecimento precoce do corpo hídrico afetado. Neste caso, os efeitos negativos são notados muito antes do que se a eutrofização ocorresse somente de forma natural (Müller, 2011). Este processo reduz as características naturais de lagos e represas e deteriora a qualidade da água, tornando-a não disponível para vários usos e encarecendo consideravelmente o processo de tratamento (Tundisi; Tundisi, 2008).

Um índice de qualidade da água que tem sido amplamente utilizado para monitoramento de mananciais é o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). Trata-se de um índice desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME) que permite avaliar a situação dos corpos hídricos em relação às metas de qualidade definidas pela legislação (CCME, 2017). No Brasil, a Resolução n° 357, de 17 de

março de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA trata do enquadramento dos corpos de água de acordo com a qualidade apresentada por eles.

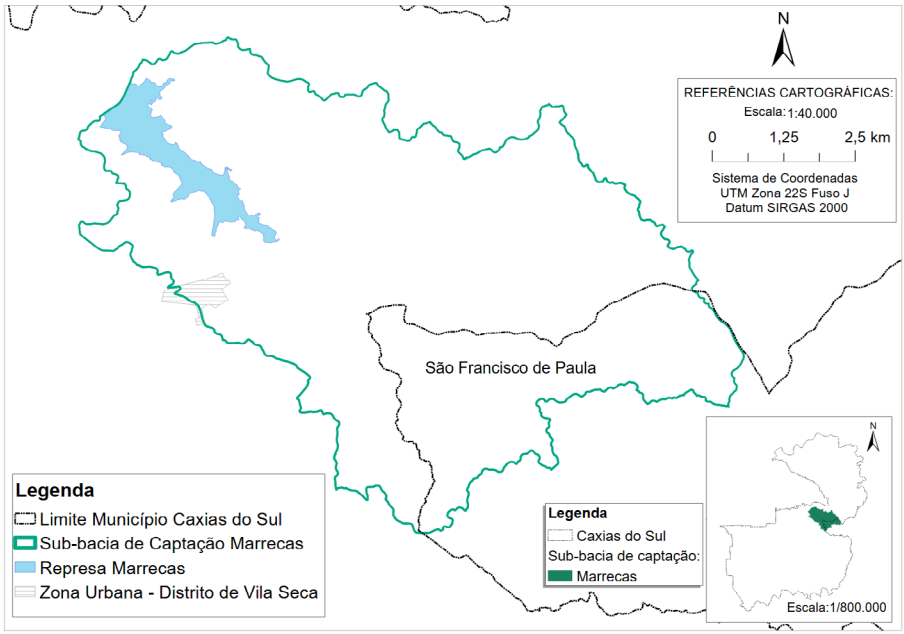
Portanto, este estudo utiliza o ICE para avaliar a qualidade da água de uma represa de captação, responsável por aproximadamente 27% do abastecimento de Caxias do Sul, cidade localizada na região nordeste do Rio Grande do Sul. Para o cálculo do ICE foram utilizadas variáveis de qualidade da água bruta que historicamente afetam ou possuem o potencial de afetar o processo de tratamento de água na região, sendo que os objetivos de referência estão relacionados aos padrões de qualidade apresentados na Resolução CONAMA 357/2005 para água doce de classe 2. Para a avaliação das condições da água do manancial ao longo do tempo, foi considerado o período que compreende o início de operação do manancial no ano de 2014 até o ano de 2024.

Metodologia

Área de Estudo

Para este estudo, foi selecionada a represa de captação Marrecas, situada na zona rural de Caxias do Sul, estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). O município de Caxias do Sul está localizado na Região Hidrográfica do Guaíba, inserida nas Bacias Hidrográficas dos rios Taquari-Antas e Caí. A sub-bacia de captação Marrecas, que apresenta uma área total de cerca de 5.325,5 ha, pertence à Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, sendo tipificada como contribuinte do Rio das Antas. Quanto à geologia, no município, afloram rochas vulcânicas ácidas pertencentes à Formação Serra Geral, bem como depósitos recentes de tálus e colúvios (Borsatto *et al.*, 2015).

Figura 1 – Mapa de localização da sub-bacia Marrecas



Fonte: as autoras

Levantamento de Dados

Para os cálculos do ICE foram selecionados oito parâmetros de qualidade que interferem diretamente no tratamento da água e possuem limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (tabela 1), para água doce de classe 2. Estes parâmetros foram aferidos mensalmente, com coletas superficiais no ponto de captação da represa estudada no período de 2014 a 2024.

T abela 1 – Parâmetros de qualidade utilizados para o cálculo do ICE.

Parâmetro de qualidade	Limite e/ou Objetivo (classe 2)
Turbidez	≤ 100 UNT
Oxigênio Dissolvido (OD)	≥ 5 mg/L
Densidade de Cianobactérias	≤ 50.000 cel./mL
Nitrito	≤ 1,0 mg/L
Manganês total	≤ 0,1 mg/L
pH	6,0 a 9,0
Fósforo total	≤ 0,03 mg/L
Nitrato	≤ 10 mg/L

Fonte: adaptado de Brasil (2005).

Cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento

O cálculo para o ICE, proposto neste trabalho, está baseado no documento "Diretrizes Canadenses de Qualidade da Água para a Proteção da Vida Aquática" elaborado pela CCME (2017). O índice é baseado em uma combinação matemática de três fatores para produzir um valor único, entre 0 e 100, que descreve a qualidade da água (tabela 2). Estes fatores são calculados da seguinte forma:

Fator 1: Abrangência (%) – representado pelo número de variáveis cujos objetivos não foram atendidos.

F_1 = (Número de variáveis que falharam ÷ número total de variáveis) x 100

Fator 2: Frequência (%) – frequência com que os objetivos não foram atendidos.

F_2 = (Número de testes que falharam ÷ número total de testes) x 100

Fator 3: Amplitude – é a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água. O F_3 é calculado em três etapas:

1ª) Variação de cada teste que falhou, ou seja, o número de vezes em que a concentração individual é maior que o desejado.

$Variação_i$ = (Valor encontrado fora do enquadramento ÷ limite do enquadramento) – 1

Ou o número de vezes em que a concentração individual é menor que o desejado.

$Variação_i$ = (Limite do enquadramento ÷ valor encontrado fora do enquadramento) – 1

2ª) A reunião dos testes individuais que estão fora da conformidade é calculada somando todas as variações individuais que não atenderam aos objetivos e dividindo pelo número total de testes. Esta variável é denominada como a soma normalizada das variações.

$$SNV = \sum_{i=1}^{n} variação_i \div n^{o}\ total\ de\ testes$$

3ª) O valor de F_3 é calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos (SNV), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100.

$$F_3 = \frac{SNV}{0{,}01SNV + 0{,}01}$$

E por fim, o Índice é calculado da seguinte forma:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1{,}732} \right)$$

O divisor 1,732 normaliza os valores resultantes para um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a "pior" qualidade da água e 100 representa a "melhor" qualidade da água, conforme demonstrado na tabela 2.

Importante mencionar que as variáveis são os parâmetros de qualidade, neste caso OD, número de cianobactérias, nitrito, manganês, pH, turbidez, fósforo e nitrato. Os objetivos são representados pelos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para cada parâmetro, conforme a tabela 1. Os testes são os resultados ou valores verificados para cada parâmetro aferido mensalmente.

Tabela 2 – descrição das classes do ICE.

Valor do ICE	Classes	Significado
94<ICE	EXCELENTE	A qualidade da água está protegida com virtual ausência de impactos. A qualidade da água está muito próxima da condição natural.
79<ICE≤94	BOA	A qualidade da água está protegida, apresentando somente um pequeno grau de impacto. A qualidade da água raramente se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.
64<ICE≤79	REGULAR	A qualidade da água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos. A qualidade da água algumas vezes se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.
44<ICE≤64	RUIM	A qualidade da água é frequentemente prejudicada. Os parâmetros de qualidade muitas vezes não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.
ICE≤44	PÉSSIMA	A qualidade da água é quase sempre prejudicada. Os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Fonte: adaptado de CCME (2017)

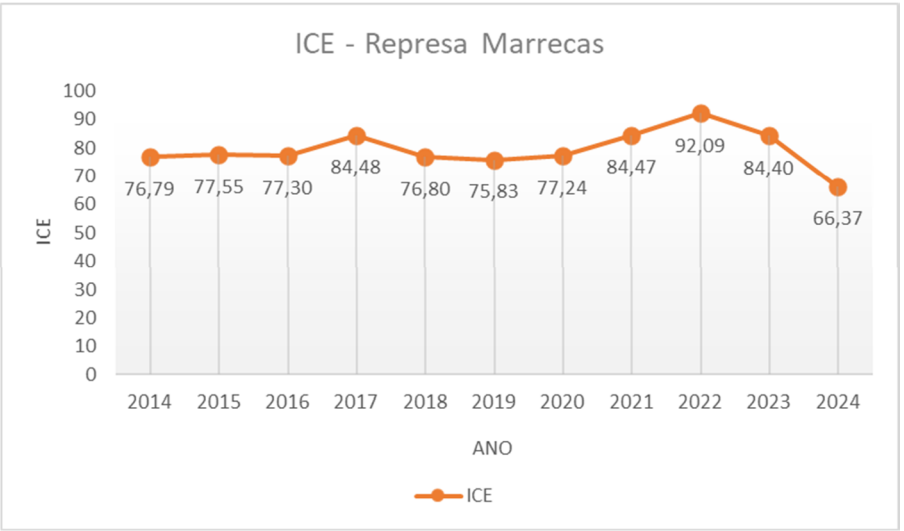
Os cálculos do ICE foram realizados em planilhas do software Excel®. Foi criado um arquivo composto por uma planilha padronizada

contendo: as variáveis que serão analisadas, seus limites estipulados na legislação, os resultados mensais de cada variável, os cálculos que compõem o índice e a tabela de apoio com a classificação dos resultados obtidos. Criou-se uma aba com a planilha padronizada para cada ano analisado.

Resultados

Na análise dos valores obtidos para o ICE da represa Marrecas (figura 2), verifica-se que houve variação entre as classes "Regular" e "Boa" e que no geral, os valores apresentam uma leve tendência de melhora. O valor mais baixo foi verificado no ano de 2024 e o mais alto em 2022. Dos onze anos analisados, sete deles a qualidade da água foi classificada como "Regular" e quatro "Boa".

Figura 2 – Resultados anuais do ICE

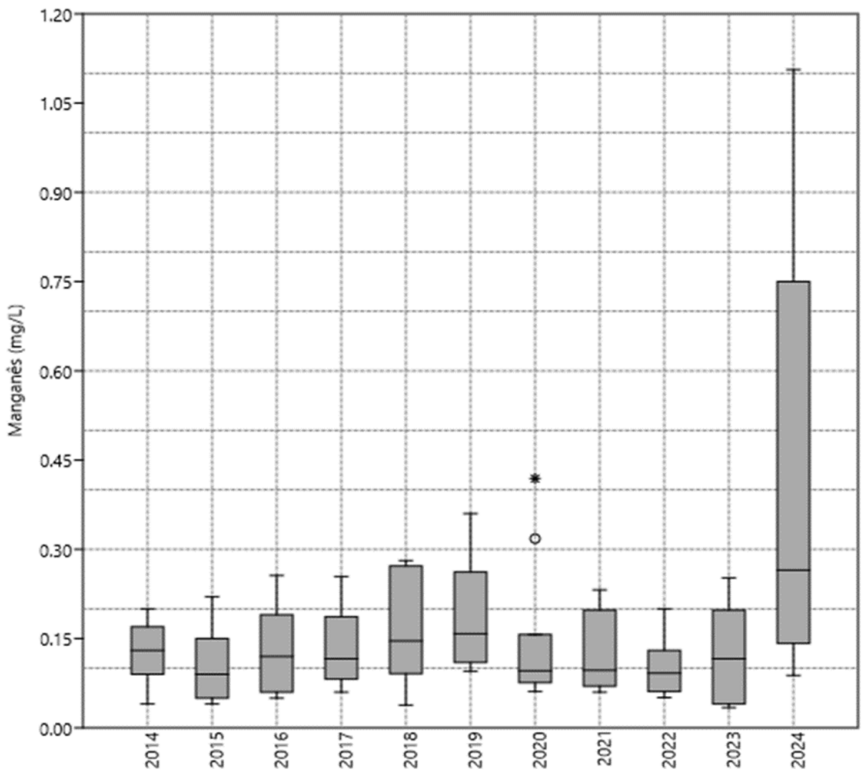


Fonte: as autoras

O parâmetro que mais contribuiu para a piora dos resultados foi a concentração de manganês total. Outros parâmetros que, em alguns momentos, também não atingiram o padrão de qualidade estabelecido para água doce de Classe 2, foram a concentração de fósforo total, de cianobactérias, pH e a concentração de oxigênio dissolvido, porém em menor frequência.

Para analisar como a concentração de manganês afetou negativamente o cálculo do ICE, a figura 3 apresenta, em forma de gráfico do tipo boxplot, o comportamento dos valores obtidos nos monitoramentos realizados.

Figura 3 – Comportamento da concentração de manganês no período estudado.



Fonte: as autoras

Nota-se um aumento na concentração de manganês total no último ano e a piora do valor do ICE para 2024. Os valores de manganês frequentemente estão acima do objetivo para a água doce de Classe 2, que é de 0,1 mg/L.

O parâmetro de qualidade manganês total afetou de forma negativa o cálculo do índice. Quando não removido, o manganês pode ocasionar coloração na água o que tende a reduzir a aceitação da água pelo consumidor.

Os metais podem ter origem natural ou antrópica no corpo d'água. Considerando as características geológicas da região, a origem natural

do manganês é uma hipótese bastante relevante para as suas concentrações ocorrerem acima do valor máximo para água doce de Classe 2 na represa. Este elemento, juntamente com outros, é lixiviado na bacia e se acumula no sedimento dos mananciais. Com a ocorrência da circulação de inverno no lago estudado, devido a menor temperatura ao longo da coluna d'água, a concentração de manganês total na água superficial aumenta, evidenciando a sua acumulação no sedimento e geralmente, causando maiores problemas para a retirada deste metal, durante o processo de tratamento, nos períodos mais frios do ano.

A hipótese da origem natural para o manganês vai de encontro com o trabalho de Reginato (2009). Neste trabalho, ao realizar a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas dos aquíferos da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, incluindo o município de Caxias do Sul, o autor verificou a elevada quantidade de manganês na água, o que compromete a sua qualidade e potabilidade. A origem deste metal está relacionada aos processos de decomposição das rochas vulcânicas que possuem minerais ferro-magnesianos, os quais quando quimicamente intemperizados acabam por fornecer os elementos ferro e manganês para os solos e para as águas presentes.

Por ser uma bacia rural, com pouca densidade demográfica, elementos que podem indicar poluição orgânica, como as concentrações de nitrito, nitrato e fosfato, no geral, não contribuíram significativamente para a redução dos valores do índice no período estudado.

No ano de 2024, a represa apresentou o menor valor para o ICE. Neste ano, a estação pluviométrica instalada na sub-bacia registrou o total anual de 2.507,2 mm de chuva, ou seja, foi um ano com índice pluviométrico alto em relação aos demais anos analisados. O mês de maio deste ano apresentou um valor bastante atípico para o acumulado de chuva quando comparado com a normal climatológica informada no Atlas Climatológico do Rio Grande do Sul (Wrege *et al.*, 2011): o acumulado de precipitação do mês foi de 679 mm, sendo que a normal climatológica é de 119,2 mm. Portanto, as entradas pontuais e difusas de água na represa Marrecas foram maiores, o que possivelmente contribuiu para o aumento da concentração de manganês aferido.

Conclusões

Foram analisados os resultados da aplicação do ICE, na represa Marrecas, para o período de onze anos. Neste intervalo de tempo, a maioria dos valores obtidos foram classificados como “Regular”, o que demonstra que a água está protegida, porém algumas vezes se desvia do padrão estabelecido para o seu enquadramento. O principal parâmetro de qualidade que contribuiu para a redução dos valores do índice foi o manganês total, metal que apresenta origem natural para a região estudada.

A avaliação temporal da qualidade da água bruta é uma importante ferramenta para a tomada de decisões por parte dos gestores de recursos hídricos. O ICE permite verificar a situação atual e mostra a possível tendência de estado futuro do corpo d’água perante seus usos principais. Sua utilização, neste trabalho, mostrou-se uma ferramenta efetiva e dinâmica, possibilitando uma análise criteriosa dos parâmetros selecionados.

Referências

BORSATTO, S.; DANI, N.; BRESSANI, L.A.; LISBOA, N.A. Mapeamento Geológico da Área Urbana de Caxias do Sul como Etapa da Cartografia Geotécnica. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental** (Online), v. 5, n. 1, p. 83-92, 2015. Disponível em: https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RBGEA_vl.5.1_2015.pdf. Acesso em 28 jan. 2025.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicado no DOU em 17 mar. 2005.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2017. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index User’s Manual 2017 Update. Winnipeg. Disponível em: https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf. Acesso em 27 jan. 2025.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011.

MÜLLER, C. C. **Confiabilidade Analítica dos Ensaios Quali-Quantitativos de Fitoplâncton para o Monitoramento Eficiente da Qualidade dos Mananciais**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 186 p.

REGINATO, P. A. A. R. As águas subterrâneas associados aos aquíferos da Formação Serra Geral e sua caracterização hidroquímica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1, 2009, São

Paulo, **Anais** [...] SP: 2009. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22010. Acesso em 29 de jan. 2025.

TUNDISI, José Galizia (coordenador). **Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 92 p.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

WREGE, M. S.; *et al.* **Atlas Climatológico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2011, 196 p.

Gerenciamento de dados de qualidade da água bruta de represas através do uso do *Power BI*

Patrícia Buffon[1], Marcia dos Santos Ramos Berreta[2], Janaina Ribeiro Velho[3]
[1]*Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul /Uergs-PPGAS (pbuffon@samaecaxias.com.br)*
[2]*Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS /Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade – PPGAS (marcia-berreta@uergs.edu.br)*
[3]*Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul (jvelho@samaecaxias.com.br)*

Resumo: A qualidade da água dos mananciais é um elemento essencial para o fornecimento de água potável e para a proteção do meio ambiente. O monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água bruta é importante para garantir a potabilidade e segurança hídrica. O uso de ferramentas tecnológicas, como o *Power BI*, tem se mostrado promissor na gestão e análise desses dados. Este estudo propõe a utilização do *Power BI* no gerenciamento de dados de qualidade da água bruta das represas de captação de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul, com foco em sua capacidade de integrar, visualizar e analisar grandes volumes de dados, facilitando a tomada de decisões e a gestão sustentável dos recursos hídricos. Os *dashboards* gerados pelo BI possibilitarão que os técnicos e gestores tenham informações rápidas e acessíveis da situação da qualidade da água bruta dos mananciais de captação.

Palavras-chave: Qualidade da água. Power BI. Dados.

Management of raw water quality data from reservoirs through the use of Power BI

Abstract: The quality of water in water sources is an essential element for the supply of drinking water and for environmental protection. Continuous monitoring of water quality parameters is important to ensure potability and water safety. The use of technological tools, such as *Power BI*, has shown promise in the management and analysis of this data. This study proposes the use of *Power BI* in the management of raw water quality data from the catchment dams of Caxias do Sul, in Rio Grande do Sul, focusing on its ability to integrate, visualize and analyze large volumes of data, facilitating decision-making and the sustainable management of water resources. The *dashboards* generated by BI will allow technicians and managers to have quick and accessible information on the status of the raw water quality of the catchment sources.

Key words: Water quality. Power BI. Data.

Introdução

Os mananciais são fontes naturais de água utilizadas para o abastecimento público e para outras atividades econômicas. Contudo, esses recursos estão expostos a diversas pressões, como o lançamento inadequado de resíduos industriais, de esgoto doméstico e resíduos da atividade agrícola. O monitoramento da qualidade da água é, portanto, fundamental para assegurar que a água captada esteja em conformidade com os parâmetros de potabilidade e que não represente riscos à saúde humana e ao ecossistema.

A gestão eficiente desses dados exige ferramentas que permitam a coleta, análise e visualização das informações de maneira intuitiva e acessível. Nesse contexto, o Power BI, uma plataforma de Business Intelligence (BI) desenvolvida pela Microsoft, surge como uma alternativa para o gerenciamento de grandes volumes de dados, transformando informações brutas em interpretações significativas.

Diante disso, este estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de acesso e gerenciamento de dados de qualidade da água bruta das represas de captação de Caxias do Sul para ser utilizada pelos técnicos e gestores que atuam nas atividades relacionadas ao tratamento da água e preservação das bacias de captação. Os principais parâmetros de qualidade que afetam o tratamento da água são organizados para a construção de dashboards utilizando o serviço de análise de dados do Microsoft Power BI®.

A qualidade da água de mananciais destinados ao abastecimento público

A qualidade da água dos mananciais é determinada por uma série de parâmetros físico-químicos e biológicos. Entre os principais parâmetros monitorados, destacam-se os previstos nas legislações como a Portaria n° 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Entre estes parâmetros estão: concentração de Escherichia coli, cianobactérias, metais, substâncias orgânicas e agrotóxicos (Brasil, 2021).

A variação dos parâmetros de qualidade pode indicar a presença de poluentes ou a deterioração da qualidade da água, comprometendo sua potabilidade e afetando a biodiversidade aquática. Diante disso, os pro-

cessos de tratamento tornam-se cada vez mais caros e comprometidos por conta do crescimento populacional, do aumento das áreas urbanizadas e das atividades da agropecuária e da industrialização (Magalhães; Barbosa Júnior, 2019).

Em geral, os dados obtidos por meio do monitoramento dos mananciais ficam armazenados em planilhas do programa Microsoft Excel. Estas planilhas são salvas em pastas que não são compartilhadas com todos os setores que poderiam e precisam utilizar estes dados. O compartilhamento destas planilhas, muitas vezes repletas de fórmulas, não é indicado, já que pequenas alterações podem afetar vários dados e causar erros. No entanto, a grande quantidade e a complexidade das informações geradas tornam-se um desafio para os gestores, que precisam de ferramentas eficientes para tomar decisões rápidas e precisas.

O *Power BI* como ferramenta para análise e visualização de dados

O Power BI é uma plataforma que permite integrar dados de diversas fontes, criar relatórios interativos e gerar dashboards dinâmicos. Para o gerenciamento de dados de qualidade da água, o Power BI oferece diversas funcionalidades que podem ser exploradas de forma eficaz (Microsoft, 2024), tais como:

a. Integração de Dados: O Power BI é capaz de conectar-se a diferentes fontes de dados, como bancos de dados SQL, arquivos Excel, serviços web, entre outros, permitindo a centralização das informações de qualidade da água provenientes de diferentes locais ou sensores.
b. Transformação de Dados: Por meio do Power Query, a ferramenta possibilita a limpeza e transformação dos dados antes da análise. Isso é particularmente útil para monitoramentos ambientais onde existem grandes quantidades de dados temporais multivariados e a possibilidade de falhas existe, mostrando a necessidade da utilização de recursos computacionais no processo de análise de dados. (Carmo *et al.*, 2016).
c. Visualização Interativa: A criação de gráficos e dashboards permite a visualização intuitiva dos parâmetros monitorados, facilitando a identificação de tendências, picos de poluição ou variações nos parâmetros de qualidade. As visualizações podem ser personalizadas

para exibir informações relevantes para diferentes níveis de gestão, desde técnicos até gestores e autoridades públicas.

d. Análise Preditiva: O Power BI também permite a integração com ferramentas de análise preditiva, como o R ou Python, possibilitando a construção de modelos de previsão da qualidade da água com base em dados históricos. Antecipar eventos críticos e apoiar ações e programas para reduzir problemas e evitar colapso hídrico é uma estratégia fornecida pelos modelos matemáticos (Lima *et al.*, 2018).
e. Monitoramento em Tempo Real: Com a integração com sistemas IoT (Internet das Coisas), é possível acompanhar em tempo real a qualidade da água dos mananciais, proporcionando uma resposta imediata em caso de variações nos parâmetros monitorados.

Aplicações práticas para empresas de saneamento

As ferramentas de Business Intelligence apresentam aplicações em diversos segmentos de uma empresa. São eles: gestão comercial, gestão de pessoas e gestão de risco (Pinto et al, 2024).

Nas empresas de saneamento, a utilização de BI já ocorre no âmbito dos Planos de Segurança da Água (PSA). O monitoramento e a gestão do sistema de distribuição de água tratada foram alvo do trabalho de Pinto e colaboradores (2024) e se apresentou eficaz para a análise de possíveis não conformidades, como a concentração baixa de Cloro Residual Total na rede de distribuição.

Leite e colaboradores (2024), também focados no PSA, utilizaram a ferramenta de Business Intelligence para a elaboração de painéis operacionais de dados históricos para os seguintes indicadores: hidrológicos, climáticos, qualidade de água bruta, qualidade da água tratada e gestão de risco.

Desafios e limitações

Embora o Power BI ofereça uma série de vantagens para o gerenciamento de dados de qualidade da água, existem alguns desafios. O principal é a necessidade de dados consistentes e em tempo real para garantir a eficácia das análises. É comum a necessidade de trabalhar com dados salvos em diversas fontes que exibem uma organização heterogênea, sendo necessário um procedimento detalhado de limpeza,

padronização, organização, definição das informações e modelos que serão trabalhados no BI (Leite *et al.*, 2024).

A implementação de sistemas de monitoramento e integração de dados exige investimentos iniciais significativos em infraestrutura, treinamento de pessoal e até mesmo o combate à resistência cultural. Outro desafio é a adaptação das ferramentas de BI aos requisitos específicos de monitoramento ambiental, que muitas vezes envolvem dados complexos e variáveis ao longo do tempo.

Metodologia

Para as represas de captação de Caxias do Sul, as telas e Dashboards referentes aos dados de qualidade da água bruta estão sendo programadas, para em seguida serem disponibilizadas na Intranet da Autarquia especialmente para os técnicos responsáveis pelo tratamento da água.

As represas de captação são monitoradas com amostragens no ponto da tomada d'água. Os parâmetros de qualidade que estão sendo trabalhados no Power BI fazem parte do monitoramento de rotina das represas, sendo eles:

a. Densidade de cianobactérias: exigida pelo Artigo 43 da Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021.
b. Média geométrica de Escherichia coli: exigida pelo Artigo 29 da Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021.
c. Média mensal de chuva e turbidez: a turbidez é um parâmetro que afeta diretamente o tratamento, já que é alterada pela presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas e orgânicas. A chuva, por sua vez, afeta a turbidez da água.
d. Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE): o objetivo da apresentação deste índice é a possibilidade de uma análise temporal da variação da qualidade da água das represas agrupando parâmetros que podem afetar o tratamento da água. O ICE utilizado é calculado de acordo com as metodologias descritas no documento "Diretrizes Canadenses de Qualidade da Água para a Proteção da Vida Aquática" elaborado pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME, 2017).

Estes dados foram organizados inicialmente em planilhas do Excel para serem exportados ao Power BI onde são trabalhados em forma de gráficos e tabelas para melhor visualização e interpretação.

Após a finalização deste processo, a validação da eficiência do BI será realizada pelos técnicos da Autarquia. Essa etapa é crucial para garantir a precisão e a confiabilidade das informações coletadas.

Resultados

Os painéis operacionais que serão testados estão apresentados nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Tela inicial do *Power BI* para seleção de dados ou localização das represas a serem visualizadas



Fonte: as autoras

A figura 1 apresenta o painel de navegação, onde o usuário seleciona a represa para acesso aos seus dados de qualidade e também para visualização da localização geográfica do ponto de amostragem.

Figura 2 – Tela do *Power BI* com os dados da represa Marrecas



Fonte: as autoras

Na figura 2, é apresentada a tela onde o usuário tem acesso aos gráficos e tabelas para visualização dos parâmetros de qualidade das represas.

Com o desenvolvimento destes painéis e seu aprimoramento ao longo do uso, espera-se auxiliar nas rotinas diárias que utilizam estes dados, oferecendo a oportunidade de consultas intersetoriais com maior integridade, transparência e rapidez.

Conclusões

A utilização do Power BI no gerenciamento de dados de qualidade da água de mananciais oferece uma solução inovadora e eficiente para a análise e visualização de informações ambientais. A ferramenta apresenta potencial para ser utilizada em vários setores das empresas de saneamento que utilizam dados.

A capacidade da ferramenta de integrar dados, gerar relatórios interativos e realizar análises preditivas permite um monitoramento mais preciso e uma gestão proativa da qualidade da água, essencial para a preservação dos recursos hídricos e a saúde pública. Apesar dos desafios, a adoção de tecnologias como o Power BI é uma alternativa para a modernização do monitoramento ambiental e facilitar a tomada de decisões baseadas em dados.

Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS N° 888, DE 04 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no D.O.U.

CARMO, A. F. C.; SHIMABUKURO, M. H.; ALCÂNTARA, E. H. Avaliação da Qualidade de dados ambientais por meio de técnicas de analítica visual. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, Jul./Set. 2016, p. 542-556. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000300031. Acesso em: 25 jan. 2025.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update. Winnipeg. Disponível em: https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf. Acesso em 27 jan. 2025.

LEITE, J. N. F; PINTO, D. de O.; ISENBURG, A. A. R. V. Desafios para uso de Business Intelligence na gestão de informações de empresas de saneamento. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2024, Recife, **Anais** [...] PE: 2024.

LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; NETO, I. E. L. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 23, n. 1, Jan./Fev. de 2018, p. 125-135. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/TGvKYWjLGBDFrVKw7csZpyr/. Acesso em: 25 jan. 2025.

MAGALHÃES, R. J. F.; BARBOSA JÚNIOR, A. R. O valor do serviço de proteção de mananciais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 1049-1060, set./out. 2019.

MICROSOFT. Treinamento. **Descrever as funcionalidades do Microsoft Power BI**. 2024. Disponível em: https://learn.microsoft.com/pt-br/training/modules/introduction-power-bi/ Acesso em: 23 mai. 2024.

PINTO, D. de O.; LEITE, J. N. F; ISENBURG, A. A. R. V. Plano de Segurança da Água: Utilização de Ferramentas de Business Intelligence na gestão de riscos do sistema de distribuição de água para consumo humano. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2024, Recife, **Anais** [...] PE: 2024.

Avaliação da Ocorrência de Sódio e Cloreto nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Costeiro (SAC), no Estado do Rio Grande do Sul (RS).

Andrey Martins de Lima[1], Pedro Antonio Roehe Reginato[2], Franciele Schwanck Carlos[2], Tiago de Vargas[2]
[1]BIC /IGEO/UFRGS (mdelima.andrey@gmail.com)
[2]DHH/IPH/UFRGS (pedro.reginato@ufrgs.br; schwanck.carlos@ufrgs.br, tiago.devargas@ufrgs.br)

Resumo: Este trabalho teve por objetivo avaliar a ocorrência de concentrações de sódio e cloreto nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Costeiro do estado do Rio Grande do Sul. A avaliação envolveu a análise estatística de 412 dados de sódio e 466 dados de cloretos, bem como a comparação desses dados com os valores máximos permitidos (VMP) de portaria de potabilidade. Os resultados encontrados indicaram um valor médio de sódio de 68,56 mg/L (0,35 – 1581,62 mg/L), mas com 23 poços apresentando valores acima do VMP (>200 mg/L). Para o cloreto o valor médio encontrado foi de 97,23 mg/L (0,03 – 2742,92 mg/L), com 32 poços apresentando valores acima do VMP (>250 mg/L). Esses resultados demonstram a importância de realizar análises físico-químicas das águas subterrâneas, quando as mesmas são utilizadas para consumo humano.

Palavras-chave: qualidade, sódio, cloreto, sistema aquífero costeiro.

Assessment of the Ocurrence of Sodium and Chloride in the Groundwater of the Coastal Aquifer System (SAC) in the State of Rio Grande do Sul (RS).

Abstract: This work aimed to evaluate the occurrence of sodium and chloride concentrations in the groundwater of the Coastal Aquifer System in the state of Rio Grande do Sul. The evaluation involved the statistical analysis of 412 sodium data and 466 chloride data, as well as the comparison of these data with the maximum permitted values (VMP) of potability ordinances. The results found indicated an average sodium value of 68.56 mg/L (0,35 – 1581,62 mg/L), but with 23 wells showing values above the VMP (>200 mg/L). For chloride, the average value found was 97.23 mg/L (0,03 – 2742,92 mg/L), with 32 wells showing values above the MPV (>250 mg/L). These results demonstrate the importance of carrying out physical-chemical analyzes of groundwater when it is used for human consumption.

Key words: qualitu, sodium, chloride, coastal aquifer system.

Introdução

Os recursos hídricos subterrâneos de regiões costeiras são condicionados por diferentes fatores, como os geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, climáticos e antrópicos. No estado do Rio Grande do Sul, o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) apresenta características hidrogeológicas e hidroquímicas distintas que são objetivo de estudos por diferentes grupos de pesquisa.

De acordo com Troian *et al.*, (2020) o SAC no litoral norte do estado do RS é caracterizado pela ocorrência de quatro grandes unidades hidroestratigráficas denominadas de UH1, UH2, UH3 e UH4. As unidades UH1 e UH3 são as que apresentam melhores condições produção de água em quantidade e qualidade. Segundo Lima *et al.*, (2024) as camadas aquíferas de maior produtividade estão associadas as camadas de sedimentos de areia média e grossa, que ocorrem em diferentes profundidades (entre 20 e 98 m) e apresentam capacidades especificas entre 4 e 13 $m^3/h/m$.

O fluxo da água subterrânea no sistema aquífero costeiro, em geral, é considerado como sendo para o oceano. No entanto em estudo realizado por Nascimento *et al.* (2023), na região do Cassino (RS), foi observado que o fluxo da água subterrânea que ocorre associada a camada aquífera presente nos depósitos eólicos holocênicos é condicionado pela topografia, textura e estratigrafia local dos sedimentos. Assim o fluxo pode ocorrer em diferentes direções.

O SAC nos estados do RS e SC é monitorado por diversos poços da rede integrada de monitoramento das águas subterrâneas (RIMAS), que realiza monitoramento quali-quantitativo (Goffermann *et al.*, 2013). Com 17 poços instalados na região costeira, os dados obtidos permitiram demonstrar que as águas subterrâneas apresentam valores de pH entre 5,1 e 7,8, condutividade elétrica entre 70 e 438 uS/cm, bem como diversos tipos de águas (bicarbonatadas cálcicas, cloretadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas).

Em termos qualitativos, o estudo realizado por Lima *et al.*, (2023), identificou concentrações elevadas de ferro e manganês em mais de 50% dos poços analisados, além de níveis significativos de sódio, cloreto, nitrato e outros compostos. Com destaque para as regiões de Osório e Palmares do Sul, que apresentaram juntas mais de 100 poços com algum parâmetro acima do limite.

Outro trabalho relevante definiu valores de background e identificou anomalias na composição da água subterrânea do SAC que foi desenvolvido por Lima *et al.*, (2024). Nesse estudo foi verificado que a ocorrência um dos maiores problemas de alteração da qualidade de água está relacionado com a presença de ferro na água, sendo o mesmo de origem antrópica. Por outro lado, também foram identificados problemas de alteração, marcados pela ocorrência de valores elevados de nitrato, sendo que a origem desse elemento estaria ligada a contaminação antrópica.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água subterrânea no Sistema Aquífero Costeiro no Rio Grande do Sul, com enfoque nas concentrações de Sódio e Cloretos, apresentando dados estatísticos e comparando com os VMPs da portaria de potabilidade N° 888 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021). Com isso, pretende-se fornecer auxílio para o avanço do conhecimento sobre o SAC e sobre qualidade da água subterrânea.

Materiais e Métodos

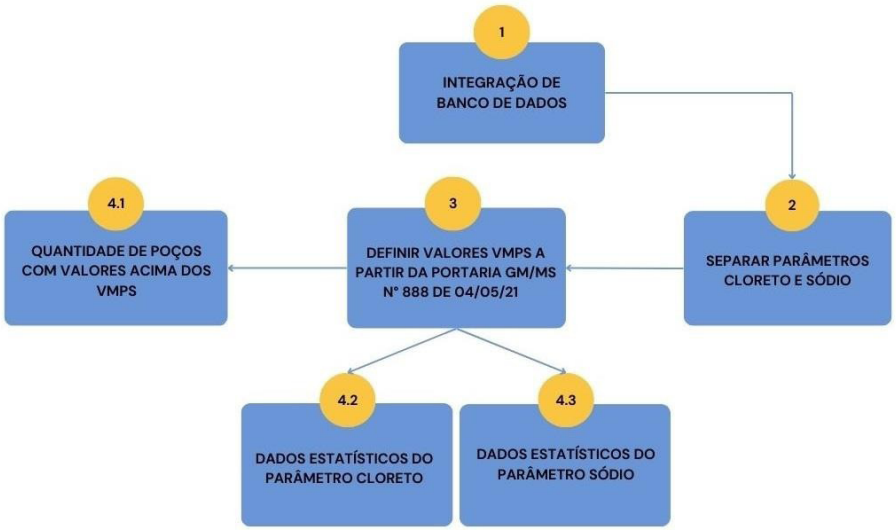
Para o desenvolvimento desse estudo foram realizadas atividades que são apresentadas no fluxograma da figura 1 e descritas abaixo.

Os dados utilizados nesse artigo foram obtidos do SIAGAS, de relatórios de análises físico-quimicas da CORSAN, bem como de bancos de dados desenvolvidos por Troian (2021) e Lima et. al. (2024).

A partir da integração dos dados em uma única planilha, separou-se os parâmetros de foco do trabalho (Cloreto e Sódio), sendo que foi realizada uma avaliação estatística (valores máximos e mínimos, média, mediana e desvio padrão), elaboração de tabelas e gráficos, visando assim promover uma caracterização da ocorrência dos valores de cloreto e sódio nas águas do SAC.

Além disso os valores encontrados foram comparados com os VMPs (valores máximos permitidos) da portaria de potabilidade da água N° 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021). Após a definição de quais poços possuíam parâmetros (sódio e cloreto) acima dos valores limites, foi possível fazer o levantamento de quantos poços por município e quais municípios possuíam poços que apresentam águas com problemas de excesso de sódio e cloreto.

Figura 1 – Fluxograma com a sequencia de atividades desenvolvidas.



Resultados e Discussão

Foram analisados dados de 466 poços com informação de cloreto e 412 que continham informação sobre sódio, sendo que os resultados da avaliação estatística são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados Estatísticos para os parâmetros analisados.

Parâmetros	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)
Valor Máximo	2742,92	1581,62
Valor Mínimo	0,03	0,35
Média	97,23	68,56
Mediana	33	31,4
Desvio Padrão	246,13	143,34

Os teores de cloreto (Cl^-) nas amostras analisadas apresentaram grande variação, com valores entre 0,03 mg/L e 2742,92 mg/L, e uma média de 97,23 mg/L. O desvio padrão de 246,13 mg/L ressalta a distribuição dispersa dos dados.

O sódio (Na^+) também apresentou grande variabilidade, com concentrações entre 0,35 mg/L e 1581,62 mg/L. A média observada foi de 68,56 mg/L, com um desvio padrão de 143,34 mg/L. A comparação dos teores de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) com os Valores Máximos Permitidos (VMPs) estabelecidos pela portaria de potabilidade GM/MS

N° 888 de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), apresenta a ocorrência de poços que apresentam água em situação imprópria para consumo sem tratamento.

O VMP para sódio é de 200 mg/L, sendo que foram identificados 23 poços, distribuídos em 13 municípios, que apresentaram concentrações superiores a esse limite.

Para o cloreto, cujo o VMP é de 250 mg/L, foram identificados 32 poços que ultrapassaram esse limite, igualmente distribuídos em 13 municípios. Essa distribuição espacial semelhante (Tabelas 2 e 3) pode indicar uma origem comum para a elevação dos teores de ambos os parâmetros.

Tabela 2 – Número de poços por município com os valores acima do VMP para sódio, de um total de 412.

Municípios	**Nº de Poços**
Arambaré	2
Arroio Grande	1
Capão da Canoa	1
Chuí	1
Cidreira	1
Pelotas	2
Rio Grande	5
Sta. Vitória do Palmar	3
Sto. Antônio da Patrulha	1
São José do Norte	2
Tapes	1
Terra de Areia	2
Tramandaí	1
Total de poços	**23**
Total de municípios	**13**

Tabela 3 – Número de poços por município com os valores acima do VMP para cloreto, de um total de 466.

Municípios	Nº de Poços
Arambaré	2
Arroio Grande	1
Barra do Ribeiro	1
Capão da Canoa	1
Chuí	1
Osório	2
Pelotas	3
Rio Grande	8
Sta. Vitória do Palmar	1
São José do Norte	3
Tapes	1
Terra de Areia	3
Tramandaí	5
Total de poços	**32**
Total de municipios	**13**

Ao considerar os poços com ambos os parâmetros disponíveis (397 amostras), observa-se que 17 poços, distribuídos em 11 municípios, ultrapassam os VMPs para sódio e cloreto simultaneamente. Vale destacar que o número total de poços avaliados varia entre os parâmetros devido à disponibilidade de dados no banco analisado. Alguns poços apresentam informações para apenas um dos parâmetros, resultando em diferenças no total de amostras consideradas em cada caso.

O gráfico da Figura 1 apresenta em porcentagem a quantidade de poços com os valores abaixo da média, entre a média e o VMP e acima do VMP, em número temos 315 poços abaixo da média, 74 poços entre a média e o VMP e 23 poços acima do VMP para sódio definido pela portaria de potabilidade da água. Já o gráfico da Figura 2 apresenta a porcentagem dos poços com os valores para cloreto, sendo 359 poços acima da média, 74 entre a média e o VMP, e 32 acima do VMP.

Gráfico 1 – Porcentagem dos valores de sódio relacionados com o valor médio.

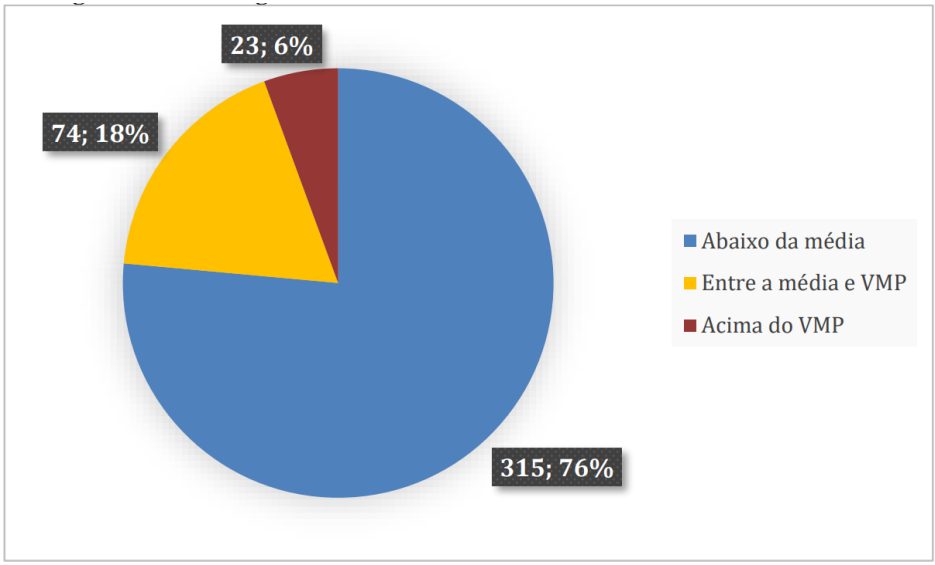
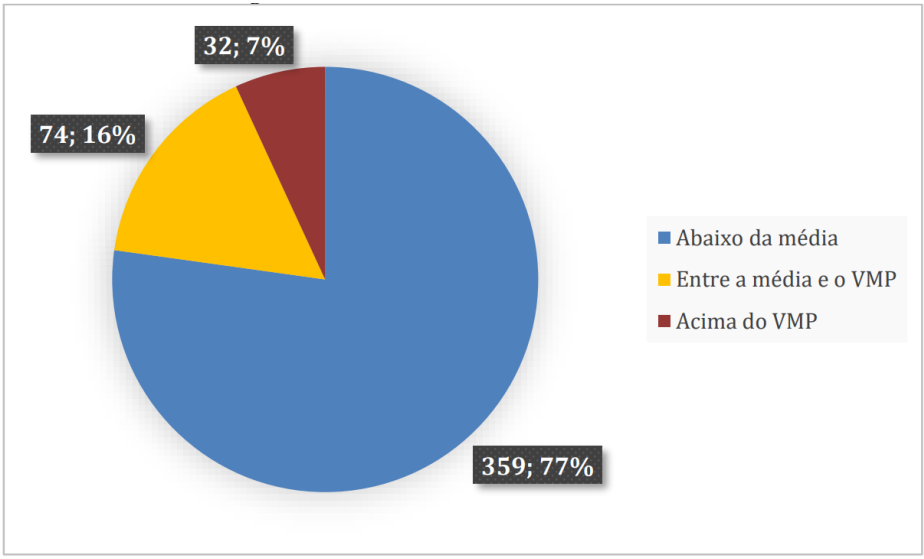


Gráfico 2 – Porcentagem dos valores de cloreto relacionados com o valor médio.



Fazendo uma breve análise dos dados em comparação com os trabalhos realizados, a água subterrânea no Sistema Aquífero Costeiro (SAC) demonstra grande variabilidade nas concentrações de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-). Isso também foi identificado por Lima *et al.*, (2024) para o SAC localizado na região abrangida pelo litoral médio e norte da

Planície Costeira do RS, sendo que os autores indicam que a origem dessas concentrações elevadas está associada processos naturais.

A geologia e a hidroestratigrafia do SAC, na região da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul é caracterizada por aquíferos porosos, com comportamento livre, semiconfinado e confinado, localizados em camadas arenosas intercaladas por sedimentos siltosos e argilosos. Essa variação tem influência nos processos de fluxo e circulação de água, bem como na mineralização das águas. De acordo com Lima et al (2024) e Troian (2021), águas que circulam por camadas aquíferas localizadas em maior profundidade (unidade hidroestratigráfica UH2 e UH4) que ocorrem associadas a sedimentos argilo-arenosos, depositados em ambientes de sedimentação marinhos, tendem a apresenta valores mais elevados de cloreto e sódio.

A proximidade com a costa também favorece a intrusão salina em camadas aquíferas. O avanço da cunha salina pode modificar o gradiente hidráulico e aumentar os teores de sódio e cloreto na água subterrânea. Esse fenômeno já foi observado em diversos estudos na região e pode ser um fator relevante para explicar as concentrações elevadas desses íons em alguns poços. Porém é de suma importância observar se o poço analisado está localizado próximo à costa, bem como a profundidade de ocorrência da camada aquífera que está sendo captada por esse poço.

Além dos fatores naturais, atividades humanas também podem estar contribuindo para a variabilidade dos valores de Cloreto e Sódio na água subterrânea, já que muitos poços contaminados se localizam próximos a áreas urbanizadas. O uso inadequado do solo, a perfuração de poços sem critérios técnicos e a proximidade com fontes de poluição (principalmente sistemas de esgotamento sanitário, como fossas) são aspectos que podem intensificar o problema.

Conclusões

Os dados analisados indicam que a água subterrânea do SAC apresenta concentrações variáveis de cloreto e sódio, com valores médios de cloreto de 97,23 mg/L e de sódio de 68,56 mg/L. No entanto há poços que apresentam concentrações mais elevadas, com valores acima do VMP, tornado a água imprópria para consumo sem tratamento. A origem desses valores elevados está associada processos geológicos, sendo que poços com maior profundidade, que captam água de camadas de sedimentos argilo-arenosos, podem apresentar valores elevados para

esses parâmetros. Por isso é necessário que após a perfuração de poços, análises físico-químicas sejam realizadas para avaliar a composição e qualidade das águas subterrâneas do SAC.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERGS, pela concessão de bolsa de iniciação científica (BIC), através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e de Iniciação Tecnológica e Inovação – PROBIC-BITI/ FAPERGS.

Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria do Ministério da Saúde MS nº 888/2021. Brasília. 2021.

GOFFERMANN, M.; TROIAN, G.C.; FREITAS, M.A. Rede Básica de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas (RIMAS) nos estados do RS e SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XX. 2013. Bento Gonçalves, **Anais** ABRH.

LIMA, A. M.; REGINATO, P.A.R.; CARLOS, F.S.; VARGAS, T.; LIMA, S.D. Avaliação das Camadas Aquíferas e da Produtividade de Poços Tubulares que Captam Água do Sistema Aquífero Costeiro no Rio Grande do Sul. **In**: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XXIII. 2024. São Paulo. Anais CABAS.

LIMA, S.D.; REGINATO, P.A.R.; RISSO, A.; TROIAN, G.C. Qualidade da Água Subterrânea no Litoral do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA PARA MEIO AMBIENTE, 7º. 2023. Bento Gonçalves. **Anais**.

LIMA, S.D.; REGINATO, P.A.R.; RISSO, A. Valores de Background e Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea do Sistema Aquífero Costeiro na Região Litoral Médio e Norte do RS. **GEOSUL**. Florianópolis, v. 39, n. 90, p. 91-115, mai./ago. 2024. https://doi.org/10.5007/2177-5230.2024.e96841.

NASCIMENTO, E.A.; BARBOZA, E.G.; REGINATO, P.A.R.; ROSA, M.L.C.C.; BARILI, R. O Fluxo da Água Subterrânea no Sistema Aquífero Costeiro, associado aos Depósitos Eólicos Holocênicos na região do Cassino/RS. **Revista Águas Subterrâneas**. v. 37, n. 3, e-30202, 2023. 1.

TROIAN, Guilherme Casarotto; REGINATO, Pedro Antonio Roehe; MARQUEZAN, Ricardo Giumelli; KIRCHHEIM, Roberto Eduardo. Modelo conceitual hidroestratigráfico do sistema aquífero costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas**. DOI: http:/dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883. 2020.

TROIAN, G. C. **Compartimentação hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro no estado do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2021.

Comportamento de nanopartículas de prata em soluções aquosas expostas à radiação solar

Soraya Moreno Palácio, Laila Karoline Ferreira, Marjhorie Thais Meneguzzo Deon, Márcia Teresinha Veit, Élvio Antônio de Campos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. (soraya_palacio@yahoo.com.br, lailakferreira@hotmail.com, marjhoriedeon@gmail.com, marcia_veit@yahoo.com.br e elvioantonio@uol.com.br)

Resumo: As nanopartículas estão presentes nas mais variadas áreas e produtos de consumo, como na fabricação de aparelhos eletrônicos, aditivos alimentares, produtos antibacterianos, entre outros. Estudos mostraram que as nanopartículas de prata (AgNPs) podem representar riscos potenciais para a saúde e o ambiente. A toxicidade pode ser altamente influenciada pelo tamanho e forma e pelo estado de agregação destas partículas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da radiação solar no comportamento das AgNPs. As AgNPs utilizadas neste estudo foram sintetizadas combinando um agente precursor ($AgNO_3$), em duas concentrações ((3 mmol L^{-1} e 5 mmol L^{-1}), com os estabilizantes carboximetilcelulose sódica (CMC) e álcool polivinílico (PVA), utilizando borohidreto de sódio ($NaBH_4$) como agente redutor. O aspecto morfológico das dispersões coloidais das AgNPs foi observado por meio de análises de microscopia eletrônica de transmissão e foi obtido o dimensionamento das partículas por espalhamento dinâmico de luz. Dispersões de AgNPs puras e diluídas a 50% foram expostas à radiação solar e monitoradas alterações no espectro de absorção molecular na região UV/Visível. A exposição solar foi acompanhada por um aumento na temperatura das dispersões. Os espectros de absorção molecular mostraram aumento de banda em vários testes devido à agregação de partículas ou possível mudança de forma. Os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis) definidos na Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas mais relevantes ao trabalho são o (Água Potável e Saneamento), 12 (Consumo e Produção responsáveis) e o 14 (Vida da água).

Palavras-chave: carboximetilcelulose, álcool polivinílico, agregação de partículas, UV-Visível.

Introdução

As propriedades físico-químicas das nanopartículas oferecem um potencial ilimitado de aplicações com benefícios que permitem melhorar a qualidade de vida e também ajudar no tratamento e na preservação do meio ambiente, visto que há uma enorme expansão da pesquisa

nesse novo campo interdisciplinar que, envolve biologia, física, química, engenharia, farmácia e medicina.

Provavelmente o nanomaterial mais proeminente em aplicações comerciais no momento seja a nanopartícula de prata (AgNP). Devido a sua potente atividade bactericida, este material vem sendo incorporado em diferentes produtos comerciais na área médico-hospitalar, como tecidos e implantes, sapatos e tênis, recipientes para armazenamento de alimentos, máquinas de lavar roupas, aparelhos de ar-condicionado e até em creme dental. Também pode ser encontrado em próteses ósseas, instrumentos cirúrgicos, dentre muitos outros (Chen & Schluesener, 2008).

Estudos recentes demonstraram que as nanopartículas de prata (AgNPs) podem trazer riscos potenciais à saúde e ao meio ambiente. A toxicidade pode ser altamente influenciada pelo tamanho e forma das partículas e pelo estado de agregação destas. (Chen & Schluesener, 2008).

É extremamente importante a escolha do estabilizante utilizado na síntese, pois este é utilizado para evitar a agregação das partículas. De acordo com Solomon *et al.* (2007) a agregação das partículas altera a forma e o tamanho delas e, no caso de produtos na forma de pó, suas solubilidades. A relação entre quantidade de precursor e o agente redutor utilizados na síntese também influencia no grau de aglomeração, e, portanto, pode ser utilizada como tomada para controle de tamanho de partícula dos produtos formados.

Para estudar a estabilidade das nanopartículas a técnica de Uv-Vis é uma ferramenta importante pois através dela é possível monitorar o comportamento da banda plasmônica das dispersões. O espectro de absorção do Uv-Vis pode variar dependendo da rota de síntese utilizada e do tamanho das nanopartículas existentes no meio. O comprimento de onda observado no espectro sobre 400 nm é proveniente de nanopartículas de prata esférica (Sastry *et al.*, 1998; Noguez *et al.*, 2007;).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da exposição à radiação solar em nanopartículas de prata (AgNPs) estabilizadas com carboximetilcelulose sódica (CMC) e álcool polivinílico (PVA), sintetizadas com duas concentrações de agente precursor. Os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis) definidos na Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas mais relevantes ao trabalho

são o 6 (Água Potável e Saneamento), 12 (Consumo e Produção responsáveis) e o 14 (Vida da água).

Materiais e Métodos

Síntese de nanopartículas de Prata

As AgNPs foram sintetizadas por redução química do $AgNO_3$ com borohidreto de sódio 3 mmol L^{-1} com base na metodologia descrita por Lee & Meisel (1982), usando duas concentrações do agente precursor $AgNO_3$ (3 mmol L^{-1} e 5 mmol L^{-1}) e dois estabilizantes, carboximetilcelulose sódica (CMC) e álcool polivinílico (PVA), na concentração de 1% (m/v). As dispersões de AgNPs foram denominadas de AgNP3-CMC, AgNP5-CMC, AgNP3-PVA e AgNP5-PVA preparadas com 3 e 5 mmol L^{-1} de $AgNO_3$ estabilizadas com CMC e PVA, respectivamente.

Caracterização das nanopartículas de prata

A formação de AgNPs foi confirmada utilizando um espectrofotômetro (Shimadzu 1800), operando na faixa espectral de 300 a 700 nm. Antes das leituras as amostras foram diluídas na proporção 1:25 (v/v) com água destilada. A morfologia e o estado de agregação das AgNPs recém-sintetizadas (sem diluição) foi avaliada por microscopia eletrônica de transmissão (TEM). Os raios hidrodinâmicos médios das AgNPs foram determinados através do espalhamento dinâmico de luz (Dinamic Light Scattering – DLS), utilizando o equipamento modelo Zetasizer, Nano Series da marca Malvern Intruments.

Estudo da estabilidade das AgNPs expostas à radiação solar

As dispersões puras ou diluídas a 50% foram submetidas à radiação solar por, 2, 4 e 6h. Sendo que o ponto intermediário foi ao meio-dia. As temperaturas das dispersões foram medidas antes e depois da exposição. Foram realizadas medidas de espectroscopia UV-Vis a fim de observar a absorção plasmônica de AgNP em espectrofotômetro Shimadzu 1800 atuando em faixa espectral entre 200 e 800 nm, sendo que as dispersões foram diluídas na proporção 1/25 (v/v) em água destilada. Adicionalmente foram medidos os valores de condutividade elétrica das dispersões.

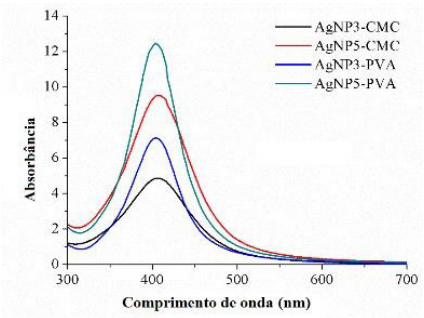
Resultados e Discussão

Caracterização das AgNPs

A dispersão AgNP3-CMC apresentou coloração inicial amarelo claro e a dispersão AgNP5-CMC coloração marrom claro, enquanto as dispersões de AgNP3-PVA e AgNP5-PVA apresentaram coloração marrom escuro intensa. Segundo Jin *et al.* (2001), uma dispersão de AgNP totalmente livre de aglomerados deve ter uma coloração amarela mais clara.

De acordo com a teoria de Mie (Klabunde, 2001) apenas uma única excitação eletrônica em níveis quânticos é esperada no espectro de absorção de nanopartículas esféricas. O resultado prático da teoria de Mie é que para partículas de prata menor do que cerca de 40 nm de diâmetro, irá mostrar uma forte banda localizada na faixa entre 380 e 420 nm. Em sua maioria, os espectros de absorção molecular apresentaram banda de máxima absorbância das AgNPs, em torno de 400 nm.

Figura 1. Espectros das dispersões de AgNPs recém-sintetizadas

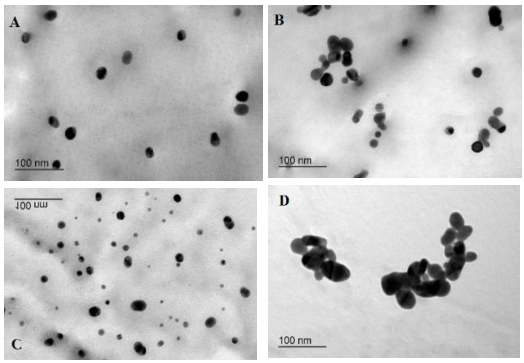


Os espectros das AgNPs (Figura 1) apresentaram bandas simétricas, de ambas as dispersões puras, AgNP3-CMC e AgNP5-CMC, centradas em 400 nm, cuja absorbância diminui menos acentuadamente na região após 500 nm, aproximadamente. Isso pode indicar uma possível diferença na distribuição do tamanho das nanopartículas.

A dispersão AgNP5-CMC e AgNP5-PVA apresentaram elevada presença de aglomerados, quando comparada à dispersão AgNP3-CMC e AgNP3-PVA (Figura 2). Esse fenômeno de aglomeração pode ser devido à alta concentração do agente precursor $AgNO_3$ equivalente a 5 mmol L^{-1} utilizada nestas reações, que pode fazer com que as partículas se aglomerem. De acordo com Melo Jr *et al.* (2012) a alta concentração

do agente precursor nitrato de prata faz com que as partículas se aglomerem e se tornem maiores.

Figura 2. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de transmissão das dispersões de AgNPs das AgNPs. (A): AgNP3-CMC; (B) AgNP5-PVA; (C): AgNP3-PVA e (D) AgNP5-CMC



A distribuição percentual do tamanho das partículas obtidas através da análise de DLS nas diferentes dispersões de AgNPs pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição percentual do tamanho das partículas obtidas por DLS nas diferentes soluções de AgNPs sintetizadas

Reação	Picos	Diâmetro médio (nm)	Intensidade (%)
AgNP3-CMC	1	3,88	32,9
	2	14,37	67,1
AgNP5-PVA	1	45,97	0,1
	2	10,82	99,9
AgNP3-PVA	1	6,65	100
AgNP5-CMC	1	22,54	66,1
	2	101,6	33,9

É possível afirmar que o agente precursor influenciou na distribuição de tamanho das AgNPs. Ficou nítido que quanto maior a concentração do agente precursor, maior o tamanho das partículas, uma vez que as partículas provenientes da dispersão AgNP5-CMC e AgNP5-PVA apresentaram tamanhos maiores (Tabela 1).

Estabilidade das AgNPs expostas à radiação solar

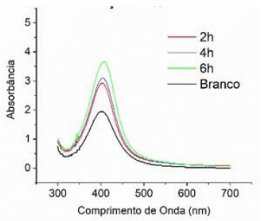
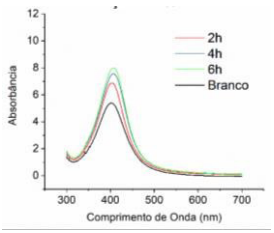
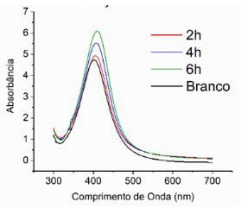
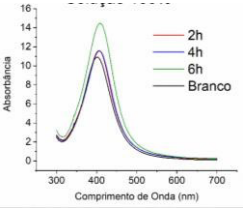
As absorbâncias das dispersões de maneira geral aumentaram quando foi usado o CMC, sendo que quanto maior o tempo de expo-

sição, maior este valor (Figura 3). Foi possível constatar que quanto maior o tempo, mais escura as dispersões se tornavam e que também sua temperatura aumentava. Ao início do experimento as amostras estavam a 21°C, após 2 horas de exposição as amostras se encontravam a 27°C, após 4 horas, se encontravam a 33°C, e após 6h, estavam a 39°C.

Assim como na dispersão AgNP3-CMC, na dispersão AgNP5-CMC a exposição à radiação solar tornou as bandas de energia mais intensas. É possível observar também um pequeno alargamento das bandas e um deslocamento das bandas para a região de baixa frequência do espectro, principalmente nas dispersões puras.

Estes resultados podem indicar que nestas condições (presença de radiação solar/aumento da temperatura) a conversão da prata iônica residual em AgNP pode ocorrer, aumentando a concentração de AgNP no meio. Para confirmar essa suposição são necessários estudos complementares para avaliar o percentual de conversão.

Figura 3. Espectros de absorção molecular das dispersões AgNP-CMC expostas a radiação solar: (a) AgNP3-CMC dispersão 50%, (b) AgNP3-CMC dispersão pura (100%), (c) AgNP5-CMC dispersão 50%, (d) AgNP5-CMC dispersão pura (100%).

Dispersão 50%	**Sem diluição**
 (a)	 (b)
Dispersão 50%	**Sem diluição**
 (c)	 (d)

Com as dispersões estabilizadas com PVA também ocorreu aumento na temperatura de 21°C, para 27 °C após 2 horas de exposição, para 33 °C após 4 horas e para 39 °C após 6 horas.

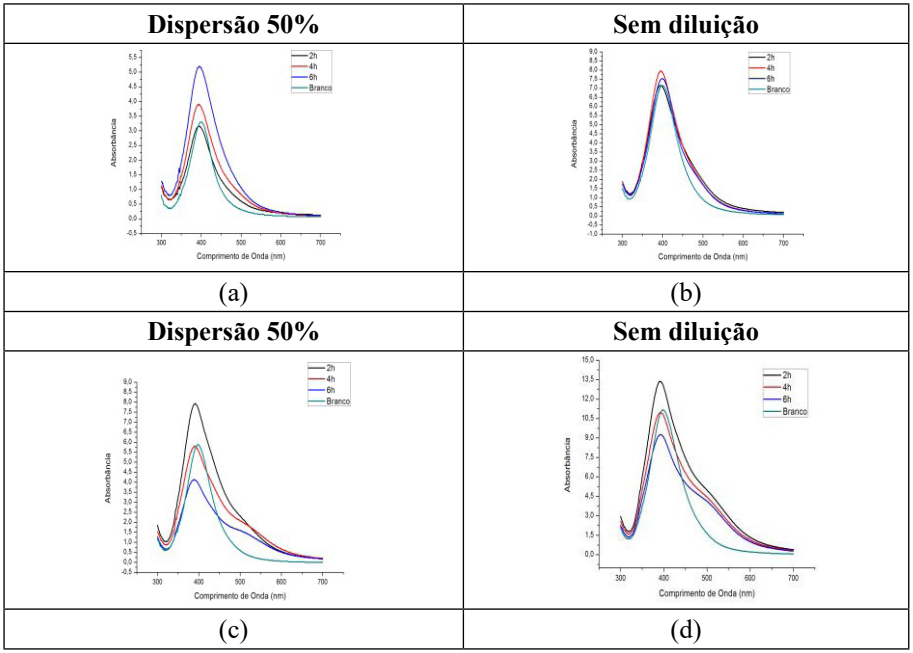
A dispersão diluída de AgNP3-PVA (Fig. 4a) exposta a 6h de radiação solar apresentaram a maior absorbância em relação aos demais tempos, os quais demonstraram uma intensa redução na absorbância indicando dissolução das AgNPs. Para as dispersões de AgNP3-PVA não diluídas (Fig. 4b) observou-se que as dispersões expostas 4h à radiação solar apresentaram uma maior absorbância, seguidas das soluções de 6h de exposição.

A dispersão AgNP5-PVA para as duas concentrações (Fig. 4c e 4d) quando expostas a 2 horas de radiação solar apresentaram as maiores bandas de absorção e aparecimento de "ombro" em comprimento de onda acima de 500 nm, indicando aumento de nanopartículas no meio e agregação ou mudança de forma das mesmas. Para estas dispersões, quanto maior o tempo de exposição à radiação solar menor a absorbância. As dispersões apresentaram coloração escura com o passar do tempo de exposição e consequente aumento de temperatura.

Nota-se também que houve um alargamento apresentado em todas as dispersões indicando que a exposição à radiação solar provocou a agregação das AgNPs.

Os resultados obtidos podem indicar que nestas condições experimentais (presença de radiação solar/aumento da temperatura) a conversão da prata iônica residual em AgNP pode ocorrer, aumentando a concentração de AgNP no meio. Para confirmar essa suposição são necessários estudos complementares para avaliar o percentual de conversão.

Figura 4. Espectro Uv-Vis de nanopartículas de prata da dispersão AgNP3-PVA submetidas a diferentes tempos de radiação solar. a) Diluição 50%. c) Sem diluição e AgNP5-PVA submetidas a diferentes tempos de radiação. b) Diluição 50%. d) Sem diluição.



Para a dispersão AgNP3-CMC 50% (Tabela 2), a condutividade elétrica aumentou à medida que a dispersão foi exposta ao sol, acompanhando o aumento da absorbância apresentado na Fig. 5a. Pode ter ocorrido a conversão da prata iônica residual em mais AgNPs devido a presença do agente redutor que pode não ter reagido totalmente inicialmente. A dispersão pura de AgNP3-CMC não apresentou o mesmo comportamento, pois nos três tempos de exposição a condutividade elétrica foi praticamente a mesmo, embora tenha havido aumento de absorbância, como observado para a dispersão diluída. Acredita-se que isto tenha ocorrido pelo fato desta dispersão conter uma quantidade inicial maior de íons dissolvidos.

Tabela 2. Condutividade elétrica das dispersões AGNP3-CMC, AGNP5-CMC-PVA e AgNP5-PVA e AgNP3suas diluições submetidas à radiação solar

Tempo	**Condutividade elétrica (mS cm^{-1})**							
	AgNP3-CMC		**AgNP5-CMC**		**AgNP3-PVA**		**AgNP5-PVA**	
(h)	**50%**	**100%**	**50%**	**100%**	**50%**	**100%**	**50%**	**100%**
6	0,35	0,31	0,21	0,34	0,17	0,28	0,18	0,21

4	0,27	0,33	0,28	0,37	0,19	0,23	0,15	0,24
2	0,2	0,34	0,26	0,37	0,15	0,19	0,14	0,20
Branco	0,43	0,50	0,31	0,38	0,31	0,38	0,43	0,50

O mesmo comportamento da dispersão AgNP3-CMC pura foi observado na dispersão AgNP5-CMC pura e diluída, que manteve seus valores de condutividade elétrica praticamente constantes independente do tempo de exposição solar.

Os valores de ambas as soluções AgNP3-PVA e AgNP5-PVA mantiveram seus valores de condutividade elétrica praticamente constantes independente do tempo de exposição solar, revelando que a exposição à radiação solar não oxidou as nanopartículas das soluções. Em relação a dispersão branco, houve em todas as soluções um aumento da condutividade elétrica, similar ao que ocorreu com a absorbância.

Conclusão

Conclui-se que houve interferências na intensidade das bandas de energia quando as dispersões de nanopartículas estabilizadas com CMC foram expostas à radiação solar, indicando possível agregação das AgNPs. Quanto aos resultados de condutividade elétrica, estes apresentaram concordância com os obtidos por meio do espectro. Entre a dispersão AgNP3-CMC e AgNP5-CMC, a dispersão AgNP3-CMC, sintetizada com menor concentração do agente precursor $AgNO_3$, apresentou alterações mais intensas.

Quando as dispersões estabilizadas com PVA foram expostas à radiação solar, notou-se que a solução diluída apresentou uma diminuição da absorbância, o que indica uma possível dissolução das AgNPs. Comparando os efeitos entre as soluções AgNP5-PVA e AgNP3-PVA, a primeira apresentou maiores alterações.

Este estudo mostra que as mudanças nas condições ambientais podem alterar as características das nanopartículas provocando sua dissolução, agregação ou mudança de forma e isso pode aumentar ou diminuir a toxicidade destas. Vale destacar que ambas as formas de prata (iônica ou nanoparticulada) apresentam ecotoxicidade e que este estudo não é conclusivo a cerca de qual é a formulação mais segura dentre as estudadas, visto que muitas interações ocorrem no meio ambiente e podem interferir positivamente ou negativamente em seus efeitos tóxicos.

Agradecimentos

Soraya M. Palácio, Marjhorie T. M. Deon e Laila K. Ferreira agradecem ao CNPq pela bolsa concedida.

Referências

CHEN, X.; SCHLUESENER, H. J. "Nanosilver: A nanoproduct in medical application'". **Toxicology Letters**, v. 50, n. 176, 2008, pg. 1-12.

JIN, R.; CAO, Y. W.; MIRKIN, C. A.; KELLY, K. L. *et al.*, J. G. "PhotoInduced Conversion of Silver Nanospheres to Nanoprisms". **Science**, v. 94, 2001, pg. 1901-1903.

KLABUNDE, K. J. **Nanoscale materials in chemistry**, New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001.

LEE, M.; MEISEL, D. "Adsorption and surface-enhanced Raman of dyes on silver and gold sols". **Journal of Physical Chemistry**, v. 86, 1982, pg. 3391-3395.

MELO, J. R. M. A; SANTOS, L. S. S..; GONCALVES, M. C.; NOGUEIRA, A. F. "*Preparação de* nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino". **Química Nova**, v. 35, n. 9, 2012, pg. 1872-1878.

NOGUEZ, C. "Surface Plasmons on Metal Nanoparticles: The Influence of Shape and Physical Environment". **Journal of Physical Chemistry**, v. 111, 2007, pg. 3806-3819.

SASTRY, M.; PATIL, V.; SAINKAR, S. R. (1998). "Electrostatically controlled diffusion of carboxylic acid derivatized silver colloidal particles in thermally evaporated fatty amine films". **Journal of Physical Chemistry,** v. 102, 1998, pg. 1404-1410.

SOLOMON, S. D.; MOZGHAN, B.; JEYARAJASINGAM, A. V.; RUTKOWSKY, S. A. *et al.* "Synthesis and Study of Silver Nanoparticles". **Journal of Chemical Education,** v.84, 2007, p 322.

Treatment of effluents containing diesel oil using the modified Fenton process

Soraya Moreno Palácio[1], Fábio Rafael Gauer[2], Márcia Teresinha Veit[3]
[1]*Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: soraya_palacio@yahoo.com.br*
[2]*Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: fabiogauer@hotmail.com*
[3]*Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: marcia_veit@yahoo.com.br*

Abstract: The objective of the study was to evaluate the performance of Modified Fenton reactions (MFR) using complexing sodium hexametaphosphate (HMP) in the mechanical workshop effluent degradation. Tests were carried out at different pH conditions and molar ratios between the Fe^{2+}, HMP and H_2O_2, in a batch system with constant agitation. The optimization of the variables was performed by Rotational Central Compound Design (DCCR) of the DCCR 2^4+8 axial points, and 5 replicates at the central point. In the best operating conditions, the total organic carbon (TOC) removal was evaluated at different reaction times and pH values. The effluent toxicity was evaluated using Vibrio fischeri. The process has potential and with its improvement can be achieved better performance. However, in relation to the reduction of acute effluent toxicity throughout the treatment process, very positive results were obtained. Toxicity Factor (TF) value was reduced from 64 to 8 and the EC_{50} (half maximal effective concentration) evolved from 10.78 to 27.39 mg L^{-1} in 7 h of reaction. The SDGs (Sustainable Development Goals) defined in the 2030 Agenda by the United Nations that are most relevant to the work are (Clean Water and Sanitation) and 14 (Life from Water).

Key words: hexametaphosphate, complexing, Vibrio fischeri.

Introduction

The compounds present in effluents containing petroleum derivatives are of apolar organic nature, whose most important characteristic is the low affinity with water (Band *et al.*, 2008). Thus, the simplest form in which petroleum derivatives are present in the water and oil mixtures is that which contains free oil, which separates from the aqueous phase due to its hydrophobic character and difference in densities. As a result of this natural tendency of separation, the removal of the oil can be accomplished by the action of the natural flotation. However, with the application of high shear stress by means of mechanical stirring or addition of surfactant substances, the mixture is in the form of an emulsion. In this condition, the oil is mixed with water in the form of droplets and stabilized mechanically or chemically. In this way, the

gravitational separation will be very slow, and the removal of the oil fraction will require more elaborate methods.

Fenton reactions (FR) are recommended for large-scale applications because of several benefits such as ease of application, high chemical kinetics, and non-generation of waste during the treatment process (Costa *et al.*, 2008). The classic Fenton process requires pH control between 2.0-4.0 for hydroxyl radical (OH•) formation and to avoid the precipitation of ferric oxyhydroxides (Pignatello *et al.*, 2006; Neyens, 2003). Several studies have shown that Fenton or photo-Fenton reactions in the treatment of textile effluent are dependent on the initial pH, with values close to 3.0 being recommended (Vilar *et al.*, 2011; Rachmilovich-Calis *et al.*, 2011; APHA, 2012; Oliveira *et al.*, 2011; ABNT, 2012).

The use of complexing agents in Fenton reactions can prevent or delay the formation of ferric oxyhydroxides and allow the treatment of effluents at pH values close to neutrality. According to Pignatello *et al.* (2006), the Modified Fenton reactions (MFR) has gained great attention, and the use of complexing agents allowed the solubilization of the iron at neutral pH and, consequently, the expansion of the working range of Fenton reaction.

The results presented by Rachmilovich-Calis *et al.* (2011), indicate that the use of inorganic complexes based on polyphosphates accelerate Fenton reaction rates. Additionally, the study reports that the highest yield in hydroxyl radical production was due to the stabilization of oxidized Fe^{3+} ions in the reaction, inhibiting the oxidizing radical consumption by these, providing greater efficiency in the degradation of contaminants.

Thus, the general objective of this work was to evaluate the performance of the MFR using the inorganic sodium hexametaphosphate complexing (HMP) in the degradation of synthetic effluent containing emulsified diesel oil. The SDGs (Sustainable Development Goals) defined in the 2030 Agenda by the United Nations that are most relevant to the work are (Clean Water and Sanitation) and 14 (Life from Water).

Material and Methods

All the MFR experiments were performed in six-position Jar-Test (agitators using borosilicate beakers with a maximum volume of 2

L. Thus, the reaction medium is configured in an open batch system with mechanical agitation and in ambient pressure and temperature conditions.

The MFR were evaluated in a wide pH range of 3.00 to 11.00. In both processes 250 mL of the effluent, ferrous sulphate solution and the oxidant were added to the reactor with constant stirring at 220 rpm and reaction time of 3 hours. In MFR the complexing agent is added, which will be added immediately after the ferrous sulphate solution.

The tests were structured following the Rotational Central Compound Design (DCCR) of the DCCR 2^4 + 8 axial type. The designs have quintuplicated at the central point and total 29 trials. The axial levels and points for each design will be presented in terms of the mass concentrations of each reagent and the pH for the MFR (Table 1).

Table 1. Axial levels and points for the variables of the MFR with HMP used in the effluent degradation.

F	**V**	**Levels [mg L^{-1}]**				
		-2	**-1**	**0**	**1**	**+2**
$[Fe^{2+}]$	x_1	80	130	180	230	280
$[H_2O_2]$	x_2	4000	6000	8000	10000	12000
[HMP]	x_3	500	1,000	1,500	2,000	2,500
pH_i	x_4	3	5	7	9	11

F: Factors; V: Variables: pH_i: Initial pH

Statistical analysis was performed using the Statistica Software (Copyright 1984-2007 by StatSoft, Inc). The main interaction effects, analysis of variance (ANOVA), response surfaces, level curves and critical values were evaluated. statistical modeling.

The physical-chemical parameters were analyzed following methodologies presented in the Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Garduño *et al.*, 2016). The hydrogen peroxide analysis follows the methodology presented by Oliveira *et al.* (2011) and the acute toxicity analysis Vibrio fischeri had as reference the standard ABNT NBR 15411-3. The aerobic biodegradability tests were performed by the manometric respirometry method (OECD 301 F, 1992).

Results and Discussion

The effluent showed elevated total organic carbon (TOC), chemical oxygen demand (COD), calcium, magnesium and manganese (Table 2). According to OECD 301 F (1992) the effluent was considered as biodegradable. Acute toxicity analysis resulted in Toxicity Factor (TF) of 64, which is considered quite high and EC_{50} (half maximal effective concentration) indicating marked inhibitory effect on Vibrio fischeri bacteria. The effluent presented the parameters COD and TF above the legal limits for launch, it is necessary to carry out complementary treatment to suit the quality of the final effluent.

In the experimental design it was observed that the removal of TOC presented values between 14.4% and 27.6%, and it was observed low dispersion in the responses of the replicates of the central point and that these had the highest removal efficiencies of TOC.

The adjustment of the experimental data of TOC removal to the quadratic model resulted in the coefficient of determination r^2 equal to 0.959. Since the determination factor indicates the percentage of the data that were adjusted by the model, the value of r^2 presented indicates that 95.9% of the data were adequately adjusted by the model.

Table 2. Physical-chemical characteristics of the effluent.

Parameters	Value	Legal Release Limit	Unit
TOC	475.0	NL	mg C L^{-1}
COT	1.416	200[1]	mg O_2 L^{-1}
Total iron	0.82	15.0[2]	mg Fe L^{-1}
pH	7.96	5 a 8[2]	-
AB	72.8	NL	D_t
AT	64	8[1]	TF
EC_{20}	2.77	NL	mg L^{-1}
EC_{50}	10.78	NL	mg L^{-1}

[1]CEMA n°70/2009; 2CONAMA n°430/2011; TOC: Total organic carbon; COT: Chemical oxygen demand; AB: Aerobic biodegradability; AT: Acute toxicity with Vibrio fischeri; NL = Not legislated for launch; EC20: concentration of a toxic substance that reduces the amount of

light emitted by the bacteria Vibrio fischeri by 20%; EC50: half maximal effective concentration.

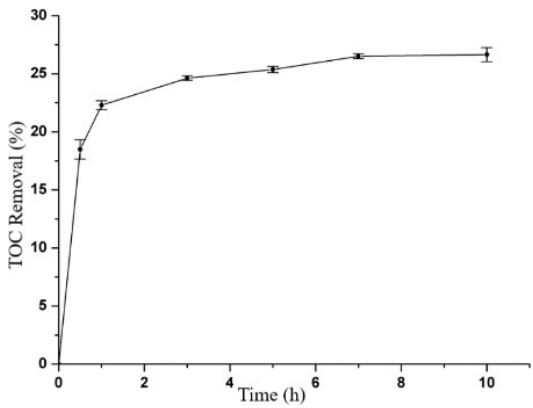
The results of the analysis of variance (ANOVA) show that the value of $F_{calculated}$ (75.65) is greater than $F_{tabulated}$ (2.48). Thus, the F test rejects the null hypothesis of no model existence for the experimental data in a 95% confidence interval. In addition, as the proposed quadratic model for the treatment of the actual effluent with the use of the MFR with HMP presented a value of the ratio equal to 30.5, the model is considered as predictive (Serra *et al.*, 2011).

The model predicts that the critical point associated with the curvature of the response surface represents a maximum point of removal of TOC, which presents the values of the factors with [HMP] = 1,487 mg L^{-1}, [Fe^{2+}] = 183 mg L^{-1}, [H_2O_2] = 7,902 mg L^{-1} e pH 6.17 with TOC removal of 27.75%.

The maximum point predicted by the model represents the molar ratio of [1:1:71] for [Fe^{2+}:HMP:H_2O_2], being this optimal ratio that presented the highest TOC removal present in the actual effluent among all the conditions evaluated in the study.

The evaluation of the kinetic behaviour of the process in relation to the removal of TOC was performed in duplicate, and the results are presented in Figure 1.

Figure 1. Results of the temporal evaluation of the TOC removal of the actual effluent submitted to MFR with [HMP] = 1,487 mg L^{-1}, [Fe^{2+}] = 183 mg L^{-1}, [H_2O_2] = 7,902 mg L^{-1} e pH 6.17.



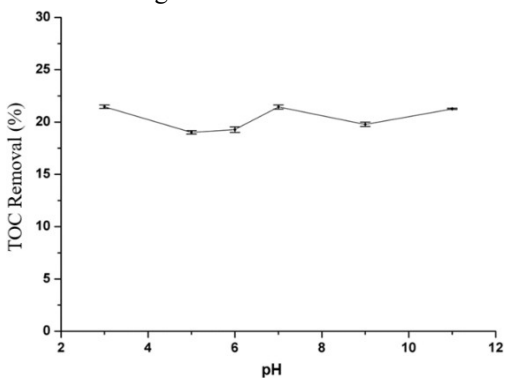
The removal of TOC showed maximum value in 10 h of reaction reaching 26.7% of removal. It was observed that after 7 h there was a

practically negligible increase in the removal of TOC. As the variation between the two measures was lower than the error between the replicates, the time of 7 h was considered the most adequate for the removal of TOC.

The experimental conditions identified as optimal in the experimental design and reaction time of 7 h were adopted, and the results are presented in Figure 2.

It was found that with the results presented for TOC removal, the process remained stable and with a maximum variation of 2.44% in the pH range between 3 and 11. The best performances were achieved at pH 3, 7 and 11, with COT removal values equal to 21.46%, 21.44% and 21.26%, respectively. That is, the technique was little affected by the variation of the initial pH of the medium.

Figure 2. Results of the initial pH variation tests of the reaction medium for the real effluent subjected to MFR with [HMP] = 1,487 mg L^{-1}, [Fe^{2+}] = 183 mg L^{-1}, [H_2O_2] = 7.902 mg L^{-1} and reaction time of 7 h



The crude effluent presented a TF value equal to 64. At 7 h of reaction the TF value was reduced to 8, being this minimum value in all the time evaluated. In 10 hours, there was an increase in TF 32. The increase in the TF value observed after the mentioned period may be associated with the formation of more toxic by-products than the compounds previously present in the reaction medium [15].

For the times of 0.5, 3 and 5 h the EC_{50} values were 8.58, 5.26 and 10.23 mg L^{-1}, lower than 10.78 mg L^{-1}which is the EC50 value of the effluent before treatment. This type of oscillation may occur due to the formation of by-products interacting differently with the test organism, but as they are subsequently consumed by the oxidation reaction, their toxic effect is reduced.

Considering the data set concerning the results of TF and EC_{50} it is possible to observe that the acute toxicity of the crude effluent was reduced. In 7 hours of reaction the TOC removal was 26.5%, the TF value was 8 and the EC_{50} value was 27.39, respectively. In compliance with the legislation regarding the toxicity parameter for effluent discharge.

Conclusions

Given the results obtained, the process has potential and with its improvement can be achieved better performance. However, in relation to the reduction of acute effluent toxicity throughout the treatment process, very positive results were obtained. It was found that in 7 h of reaction, the TF value was reduced from 64 to 8 and the EC_{50} value evolved from 10.78 to 27.39 mg L^{-1}.

References

APHA – American Public Healh Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. (22 ed.) Washington, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15411-3 Ecotoxicologia aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão da bioluminescência de Vibrio fischeri (ensaio de bactéria luminescente). Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

BANDE, R.M.; PRASAD, B.B.; MISHRA, I.M.; WASEWAR, K.L. "Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation". **Chemical Engineering Journal**, v. 34, n. 28, 2007, pg. 503-509.

COSTA, R. C. C.; MOURA, F. C. C.; ARDISSON J. D.; FABRIS, J.D. *et al.* "Highly active heterogeneous Fenton-like systems based on $Fe0/Fe_3O_4$ composites prepared by controlled reduction of iron oxides." **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 83, n. 1-2, Sept. 2008, pg. 131–139.

DÍAZ-GARDUÑO, B.; RUEDA-MARQUEZ, J.J.; MANZANO, M.A.; GARRIDO-PEREZ, C. *et al.* "Are combined AOPs effective for toxicity reduction in receiving marine environment? Suitability of battery of bioassays for wastewater treatment plant (WWTP) effluent as an ecotoxicological assessment". **Marine Environmental Research**, v. 114, 2016, pg. 1-11.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. "A Review of Classic Fenton's Peroxidation as an Advanced Oxidation Technique". **Journal of Hazardous Materials**, v. 98, 2003, pg. 33-50.

OLIVEIRA, M.; DALBONI, M. A.; IIZUKA, I. J.; MANFREDI, S. R. *et al.* "Um novo método espectrofotométrico para detectar níveis residuais de peróxido após o reprocessamento de filtros de hemodiálise". **Einstein**, v. 9, 2011, pg. 70-74.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Test No. 301: Ready Biodegradability, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3, OECD Publishing, Paris, 1992.

PIGNATELLO, J.J.; OLIVEROS, E.; MACKAY, A. “Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry”. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 36, 2006, pg. 81-84.

RACHMILOVICH-CALIS, S.; MASARWA, A.; MEYERSTEIN, N., MEYERSTEIN, D. “The effect of pyrophosphate, tripolyphosphate and ATP on the rate of the Fenton reaction”. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 105, 2011, pg. 669-674.

Serra, A.; Brillas, E.; Domènech, X.; Peral, J. “Treatment of biorecalcitrant α-methylphenylglycine aqueous solutions with a solar photo-Fenton-aerobic biological coupling: Biodegradability and environmental impact assessment”. Chemical Engineering Journal, v. 172, 2011, pg. 654-664.

VILAR, V.J.P.; PINHO, L.X.; PINTOR, A.M.A.; BOAVENTURA, R.A.R. “Treatment of Textile Wastewaters by Solar-Driven Advanced Oxidation Processes”. **Solar Energy**, v. 85, 2011, pg. 1927-1934.

Extração de Índio de sucatas de telas LCD

Natália Fernandes Piovezan[1], Ruan França da Conceição[2], Hugo Marcelo Veit[3]

[1] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (natalia.piovezan@hotmail.com)*
[2] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ruanfrancaconceicao@gmail.com)*
[3] *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (hugo.veit@ufrgs.br)*

Resumo: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) incluem monitores, televisores, smartphones e tablets que possuem telas de cristal líquido (LCD), cujos maiores produtores globais são países do Leste Asiático. Entretanto, resíduos de LCD são gerados mundialmente. Essas telas possuem estrutura em sanduíche, com duas placas de vidro cobertas com filme polarizador dos lados externos, cristal líquido no meio, além de uma camada de Óxido de Índio Estanho (ITO) em cada placa. O Índio (In), além de essencial, é valioso como matéria prima para produção de ITO. Este estudo teve como objetivos quantificar o teor de In presente nas telas de LCD, estudar a extração hidrometalúrgica com ácidos tradicionais e avaliar o uso de solventes orgânicos para sua extração. Foram coletadas 50 telas, desmontadas, pesadas e cominuídas em moinhos de facas. Para a caracterização as amostras foram digeridas em solução ácida e analisadas via ICP-OES. Para o processo hidrometalúrgico, as amostras, moídas até 500 µm, foram lixiviadas em H_2SO_4, HCl e $C_2H_2O_4$, além de misturas desses ácidos com H_2O_2, sem remoção prévia dos filmes polarizadores ou do cristal líquido. Os melhores resultados foram obtidos com solução de $C_2H_2O_4$ e H_2O_2 a 80°C, por 120 minutos, com razão sólido/líquido de 1:100, em micro-ondas, cuja extração atingiu 64,88%.

Palavras-chave: Telas de LCD. ITO. Extração de Índio.

Indium Extraction from LCD Screen Scraps

Abstract: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) includes monitors, televisions, smartphones, and tablets with liquid crystal display (LCD) screens, primarily produced by East Asian countries. However, LCD waste is generated worldwide. These screens have a sandwich structure, consisting of two glass plates coated with polarizing film on the outer sides, liquid crystal in the middle, and a layer of Indium Tin Oxide (ITO) on each plate. Indium (In) is essential and valuable as a raw material for ITO production. This study aimed to quantify the In content in LCD screens, investigate its hydrometallurgical extraction using traditional acids, and assess the use of organic solvents for extraction. Fifty LCD screens were collected, disassembled, weighed, and comminuted using cutting mills. For characterization, the samples were digested in an acid solution and analyzed by ICP-OES. For the hydrometallurgical process, the samples, ground to 500 µm, were leached using H2SO4, HCl, and C2H2O4, as well as mixtures of these acids with H2O2, without prior removal of polarizing films or liquid crystal. The best results were obtained with a

C2H2O4 and H2O2 solution at 80°C for 120 minutes, with a solid-to-liquid ratio of 1:100, using a microwave system. This process achieved an extraction efficiency of 64.88%.

Key words: LCD screens. ITO. Indium extraction.

Introdução

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) são classificados como um problema global, devido ao seu rápido crescimento, consequência do maior consumo de eletrônicos de uso pessoal ao longo dos anos (Schuster; Ebin, 2021). A crescente demanda por eletrônicos providos de displays como televisões, monitores de computador, smartphones, tablets, entre outros, gera uma necessidade de produção de telas de cristal líquido (LCD), que leva a uma maior quantidade de resíduos desses tipos de tela. Os maiores produtores de LCD são países do Leste Asiático (Coreia do Sul, Japão, Taiwan e China), enquanto resíduos dessas telas são gerados em todo o mundo (Yoo *et al.*, 2022). LCDs possuem vários materiais que podem ser recuperados.

Uma tela LCD é composta por uma estrutura em sanduíche, com duas placas de vidro cobertas com filme polarizador dos lados externos e uma mistura orgânica no meio, o Cristal Líquido. Entre as superfícies internas de vidro, existe uma camada nanométrica de Óxido de Índio Estanho (ITO). O Índio (In), metal utilizado para produção de ITO, possui valor interessante como matéria prima para produção de LCDs, apesar de ser um subproduto do minério de Zinco (Lahtela *et al.*, 2019). A estrutura de uma LCD pode ser mais bem detalhada em 8 partes: (Polarizador/Vidro da frente/Filtro de cor/ITO/Cristal Líquido/ITO/ Vidro de trás/Polarizador). O filme de ITO tem a função de conduzir eletricidade através da mistura de cristais líquidos entre as duas camadas de vidro. O In já foi considerado um material crítico pela lista de materiais críticos da União Europeia, principalmente devido ao seu uso em forma de ITO. Daí a importância de sua recuperação através da reciclagem de REEE (Chinnam; Ujaczki; O'Donoghue, 2020).

Ao longo dos anos, foram realizados vários esforços para recuperação de materiais raros como In, especialmente de telas LCD. Entre os métodos, os mais utilizados são o pré-processamento mecânico (moagem) até uma certa granulometria (normalmente 75 μm), seguido de lixiviação, utilizando soluções ácidas (Yoshida *et al.*, 2014). Muitos estudos utilizam um pré-tratamento térmico ou um tratamento físico-

-químico com algum solvente para retirada dos filmes polarizadores e do cristal líquido (Izhar *et al.*, 2019).

Neste trabalho, a rota utilizada foi a hidrometalúrgica, em que foi feito um pré-processamento em moinho de facas seguido de lixiviação com ácidos tradicionais e com um solvente orgânico.

Objetivo geral

Caracterizar materiais presentes em telas de LCD e estudar a extração de Índio metálico.

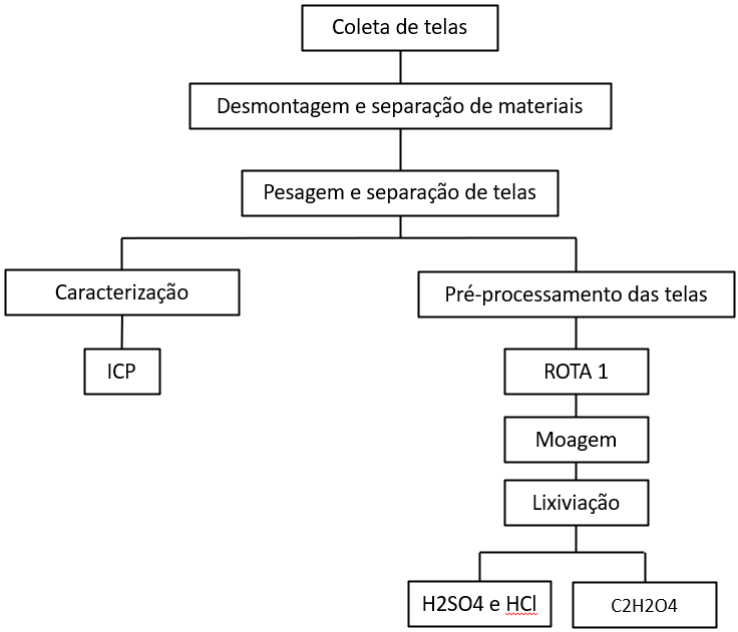
Objetivos específicos

- Quantificar o teor de Índio presente nas telas de LCD;
- Estudar a extração hidrometalúrgica de Índio;
- Avaliar o uso de solventes orgânicos para a extração de Índio.

Materiais e métodos

A Figura 1 ilustra todas as etapas realizadas do estudo.

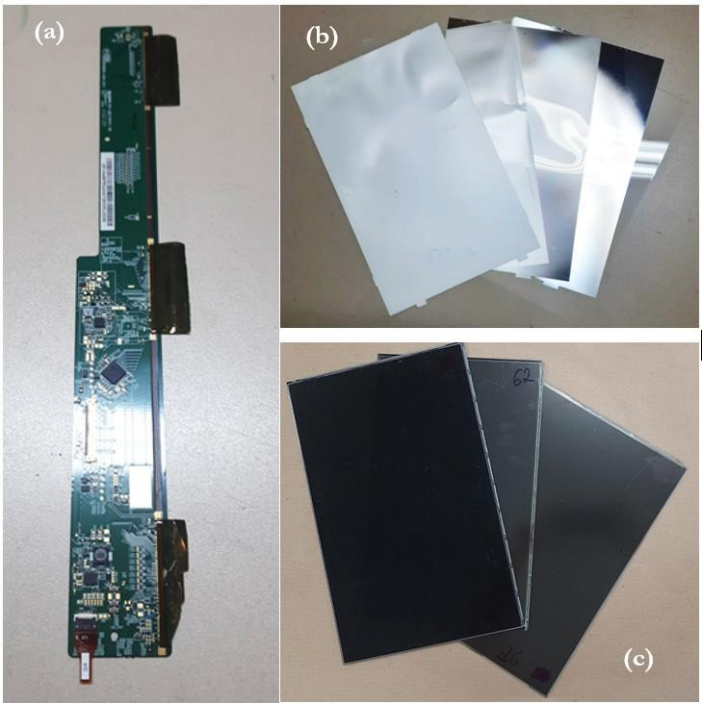
Figura 1 – Fluxograma geral do processo



Coleta e desmontagem de telas

As amostras utilizadas foram telas LCD e LED, de telas de computador, notebook, tablet e smartphone. Ao longo do estudo, foram coletadas pouco mais de 50 telas LCD e LED, de diferentes marcas e anos, através de uma campanha realizada nas redes sociais. A maioria das telas foram doadas sem as carcaças poliméricas, necessitando apenas desmontagem e separação de peças que não eram de interesse do estudo (placas de circuito impresso, backsheets, parafusos), conforme a Figura 2. A desmontagem foi realizada de forma manual. Para as telas que estavam acopladas à estrutura polimérica, as telas foram retiradas com o uso de um soprador térmico.

Figura 2 – Partes retiradas: (a) placas de circuito impresso, (b) backsheets e (c) telas LCD e LED



Pesagem e separação de telas

Após a desmontagem, as telas foram pesadas individualmente, sendo identificadas de 1 a 50. As telas foram separadas do restante dos materiais para as etapas subsequentes de pré-processamento. Foram uti-

lizadas telas de diferentes tamanhos e, consequentemente, de diferentes massas.

Caracterização

A etapa da caracterização foi realizada através de uma digestão ácida em água régia, realizada em triplicata. Primeiro, as amostras de telas foram cominuídas até a granulometria de 500 μm em um moinho de facas marca Retsch, modelo SM300. Para o processo de digestão ácida foi utilizado o Microondas Multiwave 5000 da marca Anton Paar, sendo as amostras colocadas em recipientes de teflon. Aproximadamente 400 mg de amostra foi utilizada em cada triplicata para 40 ml de solução (razão S/L de 1:100) de ácido nítrico (HNO_3) e clorídrico (HCl) a uma razão 1:3. A temperatura utilizada foi de 180ºC, por um tempo de 20 minutos para rampa de aquecimento e mais 30 minutos para o processo. A análise foi realizada em Espectroscopia de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), modelo 5110 da marca Agilent Technologies (Savvilotidou; Hahladakis; Gidarakos, 2015).

Pré-processamento

O pré-processamento foi iniciado através da moagem das telas. As telas foram quebradas e então moídas com o moinho da marca Retsch, modelo SM300 até a granulometria de 500 μm. Para certificar o tamanho de grão da amostra, foi utilizado o conjunto de peneiras da marca Bertel.

Após a moagem, foi feita a pesagem do material moído para comparação com as telas pré-moagem, de forma a verificar as perdas durante o processo. As amostras moídas não passaram por outro processo antes da etapa de lixiviação.

Lixiviação

As soluções escolhidas para lixiviação foram H_2SO_4, HCl e $C_2H_2O_4$. As amostras moídas foram pesadas e misturadas com a respectiva solução para início do processo de lixiviação utilizando um microondas. Foram testados diferentes parâmetros de processo, conforme a Tabela 1 abaixo. Para todos os parâmetros, a granulometria utilizada foi de 500 μm, temperatura de 80°C e razão S/L 1:100. Em algumas amostras, foi adicionado 30% de H_2O_2 em concentração de ácido.

Todos os experimentos foram realizados em triplicatas para cada parâmetro descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de processo utilizados nos ensaios de lixiviação

Amostra	Ácido	Concentração (mol)	Tempo (min)
AS1	H_2SO_4	0,5	120
AS2	H_2SO_4	1,0	120
AS3	H_2SO_4	0,5	180
AS4	H_2SO_4	1,0	180
AP1	$H_2SO_4 + H_2O_2$	0,5	120
AP2	$H_2SO_4 + H_2O_2$	1,0	120
AC1	HCl	0,5	120
AC2	HCl	1,0	120
AO1	$C_2H_2O_4$	0,5	120
AO2	$C_2H_2O_4$	1,0	120
AOP1	$C_2H_2O_4 + H_2O_2$	0,5	180
AOP2	$C_2H_2O_4 + H_2O_2$	1,0	180

Resultados e discussões

Caracterização

A análise realizada em ICP apontou os valores de concentração de In após digestão ácida, mostrados na Tabela 2. Em comparação a outros estudos, os valores obtidos da concentração de In neste trabalho foram superiores (Silveira *et al.*, 2015)(Yang; Retegan; Ekberg, 2013) (Chinnam; Ujaczki; O'donoghue, 2020).

Entretanto, há algumas diferenças entre este trabalho e os outros estudos da literatura que podem ter contribuído para resultados diferentes em termos de concentração de In. Neste trabalho utilizou-se quantidades muito maiores de amostras (cerca de 50 telas). Além disso, a amostragem deste trabalho é completamente heterogênea em tamanhos, pesos e marcas de tela, de forma a simular uma situação mais real em uma planta de reciclagem.

Tabela 2 – Concentração de In em g/kg

Amostragem	Concentração (g/kg)
Amostra 1	4,145
Amostra 2	2,607
Amostra 3	3,401
Média	3,384

Pré-processamento

A etapa de moagem apresentou uma perda de 434,42 g (aproximadamente 4,73%) da massa de amostra moída em relação a massa das amostras antes do processamento, conforme a Tabela 3.

Considerando a média de concentração em g/kg, obtida após a caracterização, e a massa obtida pós-moagem, é possível dizer que a quantidade de In presente seria de, aproximadamente, 29,64g.

Tabela 3 – Massa das amostras após moagem

Etapas	Massa (g)
Pré-moagem	9191,92
Pós-moagem	8757,50

Lixiviação

Os resultados da etapa de lixiviação estão apresentados nas Figuras 3 e 4. A Figura 3 traz os resultados da lixiviação para os 3 ácidos testados, sem a presença de H_2O_2. É possível verificar que o ácido sulfúrico e o ácido oxálico tiveram melhor desempenho, com taxas de lixiviação do In acima de 60%. Em ambos os casos, os melhores resultados foram para concentrações de 1 mol. A Figura 4 traz os resultados da lixiviação com ácido sulfúrico e oxálico na presença de H_2O_2. Estes resultados apontaram um leve aumento na eficiência de dissolução de In com as soluções que foram misturadas ao H_2O_2, mais especificamente com a solução de ácido oxálico. O HCl não foi misturado ao H_2O_2 por ter demonstrado previamente menor eficiência em relação ao H_2SO_4 e ao $C_2H_2O_4$.

O ácido oxálico tem sido muito estudado, pois tem demonstrado boa eficiência como lixiviante para o In em LCDs, devido ao seu poder de manter o nível de concentração protônica ao longo do processo, enquanto limita a dissolução de outros metais que não sejam de interesse

(Zheng; Benedetti; Van Hullebusch, 2023). Quanto ao H_2O_2, devido ao seu poder oxidante, quando misturado à solução é capaz de aumentar a eficiência de ácidos, especialmente ácidos orgânicos, considerando que sejam mais fracos do que os inorgânicos para dissolução de In.

Apesar de ser um ácido orgânico, mais fraco que H_2SO_4, uma possível explicação para sua maior eficiência é que o $C_2H_2O_4$, por ter uma estrutura parecida com o cristal líquido (composto orgânico), pode ter conseguido atingir mais facilmente a camada de ITO durante o processo de lixiviação. Antes da moagem, não foi feito um pré-tratamento para retirada de filmes polarizadores e cristal líquido. A maioria dos estudos apontam que a etapa de pré-tratamento seria necessária para evitar que os filmes e o cristal líquido atrapalhassem o acesso da solução lixiviante ao ITO e consequentemente a dissolução do In em ácido inorgânicos, ainda que o H_2SO_4 seja eficiente em dissolver In mesmo na presença desses materiais (Zhang *et al.*, 2015).

Figura 3 – Eficiência de dissolução do In em diferentes ácidos e parâmetros

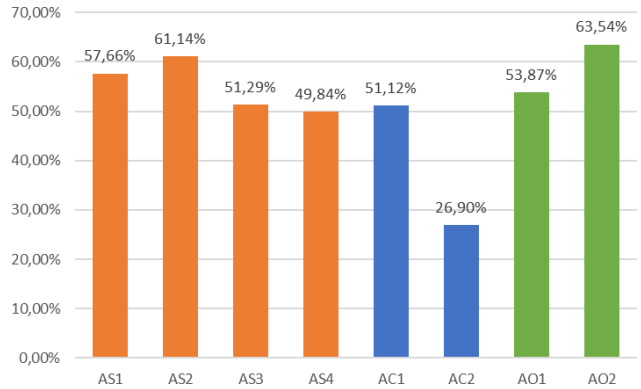
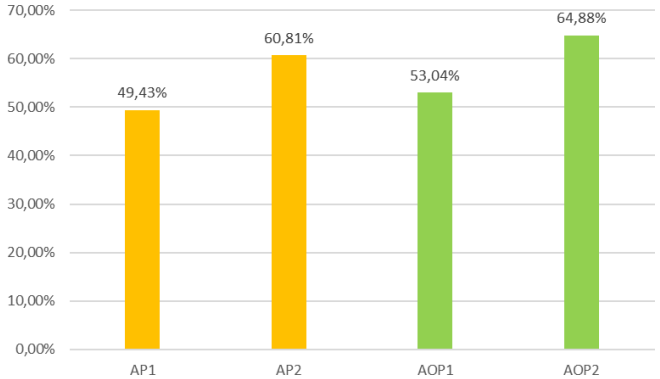


Figura 4 – Eficiência de dissolução do In em diferentes ácidos e parâmetros com mistura de H_2O_2.



Conclusões

O presente estudo demonstrou que, nas amostras utilizadas neste trabalho, o teor de In presente é na ordem de 3,3 g/kg de tela. Com relação a etapa de lixiviação, para extrair este In presente nas telas, os estudos de dissolução de In com ácido orgânico são promissores, principalmente quando misturados com H_2O_2, visto a eficiência a que chegou o processo (64,88%). Considerando a média de concentração de In em g/kg, obtida na caracterização, em um cenário com 1 ton de telas LCD, a eficiência alcançada representaria, aproximadamente, 2196 g de In.

Entretanto, falta de pré-tratamento para retirada de filmes polarizadores, filtros de cor e cristal líquido podem estar impedindo que a eficiência de dissolução do In ultrapasse o valor alcançado até então.

Referências

CHINNAM, R. K.; UJACZKI, Éva; O'DONOGHUE, Lisa. Leaching indium from discarded LCD glass: A rapid and environmentally friendly process. **Journal of Cleaner Production**, *[S. l.]*, v. 277, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122868.

IZHAR, Shamsul; YOSHIDA, Hiroyuki; NISHIO, Eiichiro; UTSUMI, Yasuhiko; KAKIMORI, Nobuaki. Removal and recovery attempt of liquid crystal from waste LCD panels using subcritical water. **Waste Management**, *[S. l.]*, v. 92, p. 15–20, 2019. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2019.04.060. Acesso em: 12 fev. 2025.

LAHTELA, Ville; VIROLAINEN, Sami; UWAOMA, Andreas; KALLIOINEN, Mari; KÄRKI, Timo; SAINIO, Tuomo. Novel mechanical pre-treatment methods for effective indium recovery from end-of-life liquid-crystal display panels. **Journal of Cleaner Production**, *[S. l.]*, v. 230, p. 580–591, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.163.

SAVVILOTIDOU, Vasiliki; HAHLADAKIS, John N.; GIDARAKOS, Evangelos. Leaching capacity of metals–metalloids and recovery of valuable materials from waste LCDs. **Waste Management**, *[S. l.]*, v. 45, p. 314–324, 2015. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2015.05.025. Acesso em: 13 jan. 2025.

SCHUSTER, Jonas; EBIN, Burçak. Investigation of indium and other valuable metals leaching from unground waste LCD screens by organic and inorganic acid leaching. **Separation and Purification Technology**, *[S. l.]*, v. 279, 2021. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.119659.

SILVEIRA, A. V. M.; FUCHS, M. S.; PINHEIRO, D. K.; TANABE, E. H.; BERTUOL, D. A. Recovery of indium from LCD screens of discarded cell phones. **Waste Management**, *[S. l.]*, v. 45, p. 334–342, 2015. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2015.04.007. Acesso em: 15 jan. 2025.

YANG, Jiaxu; RETEGAN, Teodora; EKBERG, Christian. Indium recovery from discarded LCD panel glass by solvent extraction. **Hydrometallurgy**, *[S. l.]*, v. 137,

p. 68–77, 2013. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2013.05.008. Acesso em: 15 jan. 2025.

YOO, Doo Yeol; LEE, Yujin; YOU, Ilhwan; BANTHIA, Nemkumar; ZI, Goangseup. Utilization of liquid crystal display (LCD) glass waste in concrete: A review. **Cement and Concrete Composites**, *[S. l.]*, v. 130, 2022. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2022.104542.

YOSHIDA, Hiroyuki; IZHAR, Shamsul; NISHIO, Eiichiro; UTSUMI, Yasuhiko; KAKIMORI, Nobuaki; ASGHARI FERIDOUN, Salak. Recovery of indium from TFT and CF glasses in LCD panel wastes using sub-critical water. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, *[S. l.]*, v. 125, p. 14–19, 2014. DOI: 10.1016/j.solmat.2014.02.009.

ZHANG, Kaihua; WU, Yufeng; WANG, Wei; LI, Bin; ZHANG, Yinan; ZUO, Tieyong. **Recycling indium from waste LCDs: A review**. **Resources, Conservation and Recycling** Elsevier, , 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.07.015.

ZHENG, Kun; BENEDETTI, Marc F.; VAN HULLEBUSCH, Eric D. **Recovery** technologies for indium, gallium, and germanium from end-of-life products (electronic waste) – A review. Journal of Environmental ManagementAcademic Press, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119043.

Hidrometalurgia verde aplicada à recuperação de cátodos de baterias NMC: comparação entre ácidos orgânicos solubilizados em água e etanol

Leandro I. S., Sánchez F. A. L., Veit H. M.
LACOR – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem, Departamento de Engenharia de Materiais Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (ingridschneiderleandro@gmail.com)

Resumo: A reciclagem de baterias íon-lítio tornou-se essencial devido ao crescente uso em dispositivos eletrônicos e veículos elétricos que dependem desta fonte energética. A extração primária de metais enfrenta desafios econômicos, ambientais e a redução da concentração de metais nos minérios, tornando a reciclagem, a partir da mineração urbana, uma alternativa fundamental. Métodos sustentáveis que minimizem impactos ambientais e riscos à saúde devem ser priorizados. Por isso, neste estudo, baterias NMC tipo Pouch inservíveis foram descarregadas, desmontadas e os cátodos separados. Esses foram moídos e peneirados, obtendo-se a *black mass* (BM), material de partida para a recuperação dos metais. Aplicou-se um método hidrometalúrgico de lixiviação com ácidos orgânicos, como os ácidos cítrico e DL-málico, passíveis de obtenção a partir de fontes renováveis. Os ácidos foram solubilizados em água deionizada e etanol 99,8 %, e foram comparados em lixiviações a 70 °C e 90 °C por 4 horas. A eficiência na extração de cobalto, lítio, manganês e níquel foi avaliada. A análise granulométrica revelou que frações ≤ 0,5 mm concentram a maior quantidade de compostos metálicos e foram utilizadas na BM de partida. Os ácidos orgânicos solubilizados em água alcançaram maiores rendimentos na lixiviação em comparação aos dissolvidos em etanol, que demonstraram eficiência reduzida. Os resultados indicam que a lixiviação da BM a 70 °C com solução aquosa 1 mol.L^{-1} de ácido cítrico apresenta desempenho competitivo frente a soluções ácidas inorgânicas, como água régia, comumente utilizadas na hidrometalurgia convencional.

Palavras-chaves: Baterias NMC. Reciclagem de baterias. Química verde.

Green hydrometallurgy applied to the recovery of NMC battery cathodes: comparison between organic acids solubilized in water and ethanol

Abstract: The recycling of lithium-ion batteries has become essential due to their increasing use in electronic devices and electric vehicles that rely on this energy source. Primary metal extraction faces economic and environmental

challenges, as well as a decline in metal concentrations in ores, making urban mining a crucial alternative. Sustainable methods that minimize environmental impact and health risks should be prioritized. In this study, end-of-life NMC pouch-type batteries were discharged, disassembled, and their cathodes were separated. The cathodes were milled and sieved to obtain the *black mass* (BM), the starting material for metal recovery. A hydrometallurgical leaching method was applied using organic acids, such as citric and DL-malic acids, which can be derived from renewable sources. These acids were dissolved in deionized water and 99.8 % absolute ethanol and tested in leaching processes at 70 °C and 90 °C for 4 hours. The efficiency of cobalt, lithium, manganese, and nickel extraction was evaluated. Granulometric analysis revealed that fractions ≤ 0.5 mm contained the highest concentration of metallic compounds and were selected as the starting BM. Organic acids dissolved in water achieved higher leaching yields compared to those dissolved in ethanol, which exhibited lower efficiency. The results indicate that BM leaching at 70 °C with a 1 mol.L^{-1} aqueous citric acid solution provides competitive performance compared to inorganic acid solutions, such as aqua regia, commonly used in conventional hydrometallurgical processes.

Key words: NMC Batteries. Battery recycling. Green chemistry.

Introdução

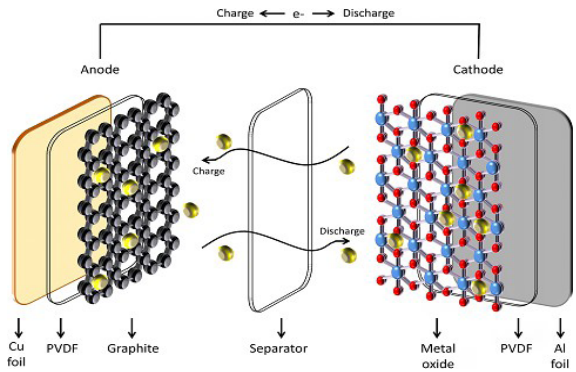
As baterias de íon-lítio (LIBs) estão cada vez mais sendo empregadas em variados dispositivos eletrônicos e também, têm sido utilizadas para os veículos elétricos, que estão sendo uma alternativa para uma mobilidade urbana mais sustentável. As baterias de íon-lítio são a melhor opção de bateria para esse mercado visto que possuem alta capacidade de gerar energia (alta densidade energética), são mais leves e ausentes de efeito de memória (Yang *et al.*, 2021).

Existem diversas composições químicas de baterias de íon-lítio que possuem características e custos diversos conforme os materiais usados em sua produção, principamente em termos do material catódico. As baterias denominadas de LCO são compostas por óxido de cobalto-lítio ($LiCoO_2$), tem alta densidade energética, porém uma vida útil curta e com baixa estabilidade térmica, sendo também a mais cara entre as baterias de íon-lítio, pois tem em sua composição um alto teor de cobalto; as baterias chamadas de LMO são compostas por óxido de lítio e manganês ($LiMn_2O_2$), possuem uma boa estabilidade térmica e são mais baratas do que as LCO visto que o óxido de manganês é um material mais barato que o óxido de cobalto, porém elas têm uma menor vida útil quando comparadas com a LCO; as baterias conhecidas como LFP possuem composição do material catódico a base de $LiFePO_4$ e possuem uma alta densidade energética, uma boa estabilidade térmica

(tolerando altas temperaturas), porém sofrem com uma alta taxa de autodescarga e são sensíveis a umidade do ambiente diminuindo seu desempenho; as baterias denominadas de NMC cuja composição do cátodo é de $LiNiMnCoO_2$ estão sendo cada vez mais visadas no mercado, compostas por óxido de lítio, cobalto, manganês e níquel, possuem alta densidade de energia por conta do níquel e do cobalto e uma alta estabilidade térmica devido a estrutura de espinélio dada pelo manganês (Martins *et al.*, 2021), tendo um custo mais baixo por conter uma quantidade menor de cobalto quando comparadas a LCO.

As baterias NMC são compostas pelo o ânodo, o cátodo, a solução eletrolítica a base de lítio e a carcaça plástica ou de alumínio. O ânodo é constituído de uma folha de cobre revestida com grafite e o ligante de PVDF (fluoreto de polivinilideno). Já no cátodo é onde se retém a maior parte dos metais de interesse, sendo eles: o lítio, cobalto, níquel e o manganês, todos em forma de óxido dispostos em uma folha de alumínio, utilizando o mesmo ligante o PVDF, a figura 1 mostra a estrutura dessas baterias.

Figura 1. Estrutura da bateria pouch de íon-lítio .



Fonte: Martins *et al.*, 2021.

A quantidade de elementos metálicos no cátodo varia de acordo com a fabricação das baterias, para a sua identificação, elas são rotuladas com um número junto que aponta sua composição estequiométrica no cátodo, por exemplo: a bateria NMC_{111} possui as mesmas proporções entre os metais cobalto, níquel e manganês, já a bateria NMC_{532} contém 5 partes de níquel, 3 partes de manganês e 2 partes de cobalto e a bateria NMC_{811} que contém 8 partes de níquel, 1 parte de manganês e 1 parte de cobalto (Camargo *et al.*, 2024). As baterias NMC que possuem maiores

proporções de níquel estão cada vez mais sendo visadas pelo mercado atualmente, por possuírem menos cobalto (baixando o custo da produção) e por possuírem uma maior densidade de energia (Armand *et al.*, 2020).

Em virtude das baterias possuírem todos esses metais e outros componentes, as mesmas são consideradas um resíduo sólido perigoso e não podem ser descartadas em um resíduo comum, pois o descarte incorreto pode prejudicar o meio ambiente (Meshram *et al.*, 2020). A reciclagem dessas baterias é a solução mais vantajosa, já que evita a geração de toneladas de resíduos sólidos que podem ser descartados erroneamente e também permite a recuperação desses metais de grande valia como o cobalto, o lítio e o níquel. A partir da mineração primária se consegue extrair quantidades cada vez menores destes elementos, que em um futuro próximo serão insuficientes para a demanda global por matérias-primas para fabricação de baterias, uma vez que este mercado está crescendo consideravelmente. Assim, a partir da reciclagem das baterias se tem uma fonte secundária e abundante para obtenção destes materiais estratégicos para consolidação do mercado de baterias (Yang *et al.*, 2021).

Atualmente, já existem nas indústrias tratamentos que fazem a reciclagem dessas baterias, são eles: pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrometalurgia, biohidrometalurgia e tratamentos híbridos (que utilizam mais de um desses processos). Cada processo possui suas vantagens e desvantagens, o processo pirometalúrgico foi um dos primeiros processos a serem usados na reciclagem de LIBs, a vantagem é que não precisa realizar nenhum pré-tratamento nas baterias, sendo colocadas inteiras no forno mufla, porém, se tem um alto consumo de energia e também geram muitos gases tóxicos a partir da degradação do material (Martins, 2022).

Na hidrometalurgia, a reciclagem é feita a partir da lixiviação dos metais utilizando ácidos inorgânicos como ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl) concentrados, porém, para esse processo é necessário realizar um pré-tratamento nas baterias, como o desmantelamento, a moagem e a peneiração desse material (black mass, fração da bateria moída e peneirada) para que a reação seja facilitada (Martins, 2022). Além do pré-tratamento das baterias, na etapa de lixiviação gera-se gases tóxicos e após a etapa final se tem um resíduo líquido que precisa ser tratado, ademais, a toxicidade desses ácidos não é só

prejudicial ao meio ambiente como também para os operadores e para os equipamentos utilizados que são corroídos, devido o seu alto poder corrosivo (Demarco, 2019).

Na literatura cada vez mais está se pesquisando sobre o uso de ácidos orgânicos ao invés dos ácidos inorgânicos comumente usados para a lixiviação de LIBs, pois além deles serem de fonte renovável, eles não possuem uma toxicidade tão alta quanto H_2SO_4 e HCl e também não geram gases prejudiciais ao meio ambiente, seguindo alguns dos princípios da química verde, como gerar o mínimo possível de resíduos tóxicos, desenvolvimento de métodos mais seguros para se trabalhar e para o meio ambiente e utilizar o menor consumo de energia (Martins, 2022: Prado, 2003).

Os ácidos orgânicos, por serem compostos orgânicos polares, podem ser solubilizados em água e alguns solventes orgânicos que possuam uma alta polaridade como o etanol (Oliveira, 2009). Em razão disso, este trabalho teve o objetivo de comparar a lixiviação da black mass feita a partir do cátodo de baterias NMC em solução aquosa e em solução alcoólica utilizando ácidos orgânicos já mencionados na literatura, como o ácido cítrico e o ácido DL-málico em um método de lixiviação convencional.

Materiais e métodos

Para este trabalho foram utilizados os cátodos de baterias Pouch doadas pela empresa Globalbat, na cidade de Porto Alegre. Para a lixiviação foram usados o ácido cítrico (Neon), o ácido DL-málico (Dinâmica), água deionizada e etanol 99,8 % absoluto (Neon) e o método utilizado foi uma lixiviação convencional em reator de vidro borosilicato com banho-maria para aquecimento uniforme e sistema fechado com o auxílio do condensador. Para as caracterizações em Espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) foi usado água Milli-Q para as diluições.

Cominuição e peneiramento

Primeiramente as baterias foram descarregadas com auxílio de um conjunto de resistor em fio com carga por 24 h. Após as mesmas foram desmontadas separando o ânodo, o separador, o cátodo e o invólucro de alumínio. Todo o cátodo foi fragmentado em pedaços menores e colocados no moinho de facas da marca Retsch modelo SM 300, ope-

rando a 1500 rpm com peneiras de abertura de 1,00 mm para a primeira moagem e peneiras de abertura de 0,75 mm para a segunda moagem.

O material moído foi então levado para a separação granulométrica através do uso do conjunto de peneiras de aberturas: 1,00 mm (#16 mesh), 0,5 mm (#32 mesh), 0,25 mm (#60 mesh) e 0,053 mm (#270 mesh) em uma mesa vibratória com frequência de oscilação constante por 30 min.

Lixiviação (Processo hidrometalúrgico)

Para analisar o teor dos metais de interesse no material moído nas frações granulométricas indicadas anteriormente, foi realizada a lixiviação dessas amostras com água régia utilizando uma razão sólido/líquido de 1:40 em microondas da Anton Paar modelo Multiwave 5000 com a taxa de aquecimento de 15 °C.min^{-1} e temperatura de patamar de 230 °C por 15 min. Após, as amostras foram filtradas e diluídas 100 vezes para análise no ICP-OES. A partir dos dados obtidos, foram escolhidas as frações granulométricas com maior concentração dos metais e essas foram juntadas e homogeneizadas formando a matéria-prima de partida, denominada de black mass (BM). Este material, posteriormente passou por processo hidrometalúrgico com uso dos ácidos orgânicos: ácido cítrico e ácido DL-málico, que foram dissolvidos em água deionizada e em etanol 99,8 %. Primeiramente foram preparadas soluções de ácidos orgânicos com concentração de 1 mol.L^{-1}. Em dois balões de fundo chato foram pesados 3 g de BM (razão sólido/líquido: 30 g.L^{-1}) e foram adicionados os ácidos solubilizados em água e etanol em cada balão, que foram aquecidos até a temperatura de 70 e 90 °C em banho-maria em sistema fechado com condensador e agitação magnética pelo tempo de 4 h.

Após a lixiviação, os balões foram resfriados por banho-maria invertido e depois filtrados para balões volumétricos de 250 mL e o volume foi completado com água deionizada, as amostras foram transferidas para um frasco que foi ambientado com as soluções previamente. Os filtros com os sólidos foram secos em temperatura ambiente e reservados.

Uma lixiviação com água régia a 70 °C e usando as mesmas condições realizadas para os ácidos orgânicos foi realizada com o intuito de comparar a eficiência de extração de metais pelos ácidos avaliados,

assumindo que a lixiviação com águar régia extrai 100% de todos os metais presentes na BM.

Caracterização

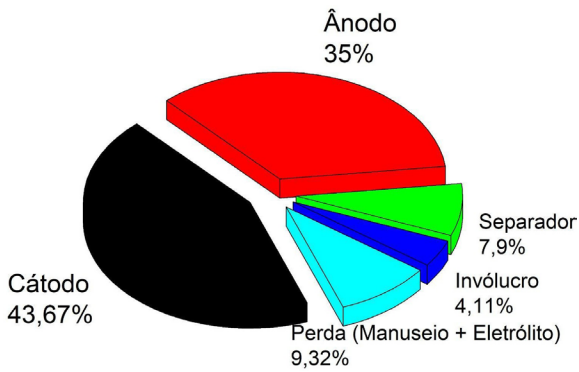
A BM foi peneirada em malha de abertura de 0,045 mm (#325 mesh) para análise por difratometria de Raio X (DRX) no difratômetro Aeris da Panalytical (com fonte de radiação Cu-Kα com ƛ = 1,54 Å), com varredura entre os 10 e 80° (2θ) e step size de 0,01 °.s^{-1} em temperatura ambiente. Para a análise elementar da BM e das amostras foi realizada a caracterização através da técnica de ICP-OES, para isso, a BM e as amostras foram diluídas 1000 vezes utilizando água ultrapura Milli-Q.

Resultados e discussão

Análise da fração granulométrica

Para a amostra da análise de fração granulométrica, foram utilizadas 5 células de bateria Pouch, as quais foram desmontadas, os componentes separados e pesados. Os valores das porcentagens em massa estão apresentados na figura 2, sendo que 43, 67 % é referente ao cátodo e 35 % é referente ao ânodo e menos de 22 % são referentes ao invólucro, perda de massa no manuseio e eletrólito.

Figura 2. Gráfico pizza das porcentagens mássicas dos componentes da bateria Pouch.

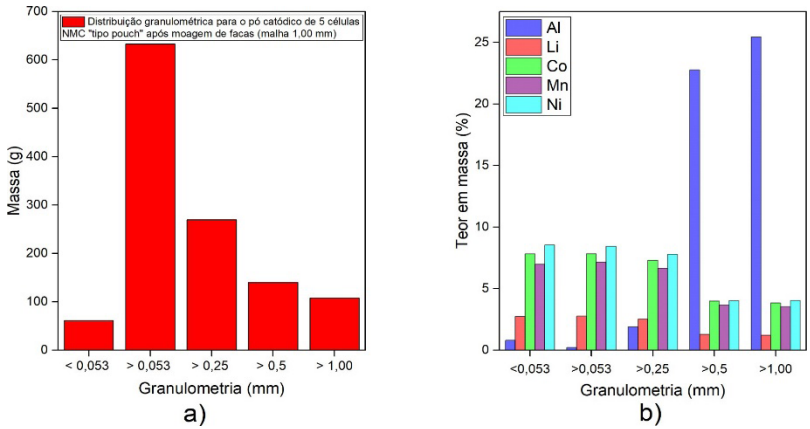


Fonte: a autora, 2025.

A partir desse material, o cátodo das 5 células foi moído e peneirado nas peneiras com aberturas já mencionadas anteriormente, e então as frações granulométricas foram pesadas e a distribuição das massas está

na figura 3 (a). Conforme visto, as frações com abertura menor que 0,5 mm foi onde ficou retido a maior quantidade de massa dos cátodos empregados. Essas 5 frações granulométricas foram então analisadas por ICP-OES para uma análise elementar, onde verificou-se que os metais de interesse: lítio, cobalto, manganês e níquel estão mais concentrados nas frações menores que 0,5 mm, já o alumínio está mais concentrado nas frações maiores que 0,5 mm, a figura 3 (b) apresenta estes dados, e por esse motivo, as frações granulométricas menores que 0,5 mm foram agrupadas, homogeneizadas e caracterizadas novamente por ICP-OES.

Figura 3. Gráfico das frações granulométricas. a) Distribuição de massa nas frações granulométricas. b) Análise elementar das frações granulométricas.

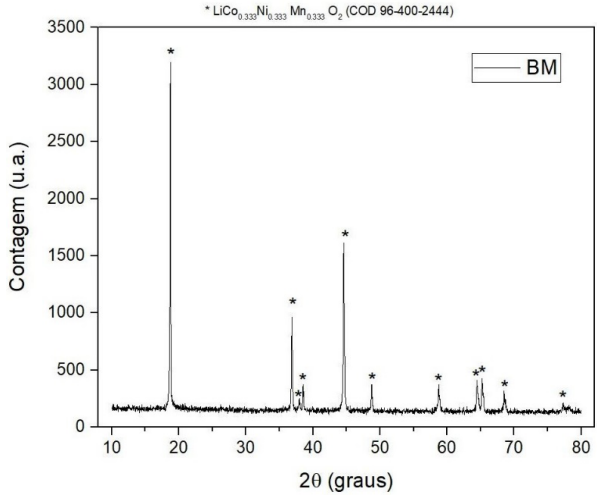


Fonte: a autora, 2025.

Análise da caracterização

O difratograma de Raios X da BM apresentou picos cristalográficos que correspondem com o óxido $LiCo_{0,33}Ni_{0,33}Mn_{0,33}O_2$, composto típico de material catódico de baterias do tipo NMC_{111} conforme ilustra a figura 4.

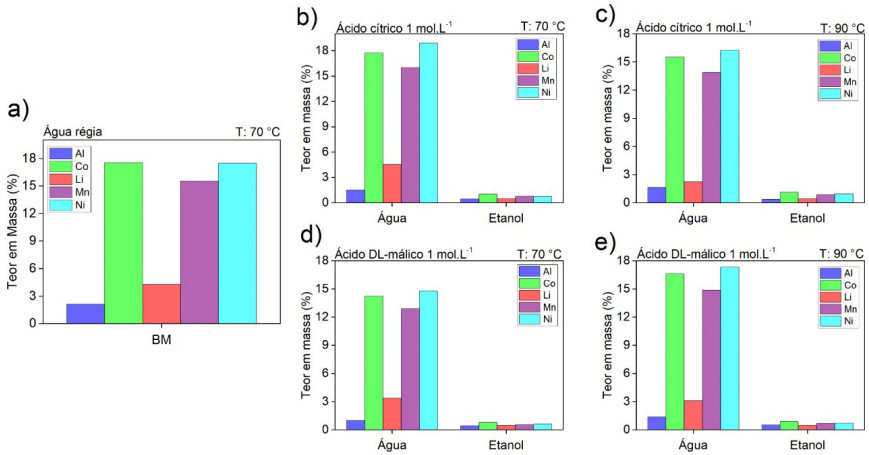
Figura 4. Difratograma de Raios X da BM.



Fonte: a autora, 2025.

As amostras lixiviadas com os ácidos orgânicos solubilizados em água e etanol foram caracterizadas por ICP-OES para determinar o quanto de cada metal foi lixiviado. A figura 5 apresenta os gráficos do teor de metais em percentual mássico para cada lixiviação.

Figura 5. Gráfico do teor mássico da: a) BM caracterizada por água régia; b) lixiviação com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 70 °C; c) lixiviação com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 90 °C; d) lixiviação com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 70 °C e e) lixiviação com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 90 °C



Fonte: a autora, 2025.

As lixiviações feitas com água deionizada como solvente obtiveram melhor eficiência do que as lixiviações realizadas com etanol 99,8 % absoluto como solvente, isso pode ter ocorrido devido a possíveis interações entre o álcool e o ácido carboxílico fazendo com os íons H^+ ficassem menos disponíveis no meio, diminuindo a interação entre o ácido e a BM.

O ácido cítrico solubilizado em água obteve uma recuperação completa dos metais: cobalto, lítio, manganês e níquel na lixiviação realizadas na temperatura de 70 °C (5b), enquanto o ácido málico solubilizado em água obteve melhores rendimentos na lixiviação feita na temperatura de 90 °C (5e).

Para melhor entendimento, as amostras serão nomeadas como A1: lixiviação em água com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 70 °C; A2: lixiviação em água com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 90 °C; A3: lixiviação em água com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 70 °C; A4: lixiviação em água com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 90 °C; E1: lixiviação em etanol com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 70 °C; E2: lixiviação em etanol com ácido cítrico 1 mol.L^{-1} a 90 °C; E3: lixiviação em etanol com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 70 °C e E4: lixiviação em etanol com ácido DL-málico 1 mol.L^{-1} a 90 °C. Assim, na tabela 1, está apresentado os rendimentos de cada lixiviação com os ácidos orgânicos.

Tabela 1. Rendimento das lixiviações com os ácidos orgânicos.

	A1 R (%)	A2 R(%)	A3 R(%)	A4 R(%)	E1 R(%)	E2 R(%)	E3 R(%)	E4 R(%)
Al	71,09	77,25	47,39	65,88	20,85	18,48	20,85	25,12
Co	100,00	88,53	81,34	94,75	5,76	6,34	4,51	5,08
Li	100,00	52,45	78,79	72,73	10,96	10,49	10,96	10,72
Mn	100,00	89,56	83,12	95,81	4,90	5,61	3,61	4,38
Ni	100,00	92,96	84,71	99,26	4,30	5,38	3,44	4,12

Fonte: a autora, 2025.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, constatou-se que frações granulométricas menores ou iguais a 0,5 mm do cátodo de baterias NMC apresentam alta concentração dos metais de interesse: cobalto, lítio, manganês e níquel; e que também essas frações são as responsáveis pela maior parte da massa dos cátodos moídos. Pelo difratograma de Raios X comprovou-se que a BM possui composição química típica de uma bateria NMC_{111} que possui os mesmos teores dos metais: cobalto, manganês e níquel. As lixiviações com os ácidos orgânicos se mostraram eficientes e com alto rendimento de recuperação dos metais de interesse e nas lixiviações baseadas em soluções ácidas aquosas se observaram os melhores desempenhos sendo que a lixiviação a 70 °C com ácido cítrico solubilizado em água obteve uma recuperação completa desses metais. Enquanto que as lixiviações com os ácidos orgânicos solubilizados em etanol teve baixa concentração dos metais e também restou sólido após o processo de filtração, sendo este sólido correspondente ao material de partida, a BM. O aumento da temperatura elevou o rendimento da maioria dos metais nas lixiviações com ácido DL-málico, porém diminuiu o rendimento das lixiviações com o ácido cítrico. Assim os resultados deste estudo indicam que há um potencial interessante para uso de ácidos orgânicos para a recuperação mais sustentável de materiais estratégicos a partir da reciclagem de baterias automotivas de lítio inservíveis.

Referências

ARMAND, Michel *et al.* Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments. **Journal Of Power Sources**, [S.L.], v. 479, p. 228708, dez. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228708. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775320310120. Acesso em: 22 jan. 2025.

CAMARGO, Priscila Silva Silveira; CARDOSO, Maryanne Hoffmann; COSTANTIN, Roberta dos Reis; CENCI, Marcelo Pilotto; SÁNCHEZ, Felipe Antonio Lucca; KASPER, Angela Cristina; VEIT, Hugo Marcelo. Spent NCM Lithium-Ion Batteries: potential evaluation of mechanical pretreatment for recycling. **Minerals**, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 1155, 15 nov. 2024. MDPI AG.http://dx.doi.org/10.3390/min14111155.Disponívelem: https://www.mdpi.com/2075-163X/14/11/1155#B5-minerals-14-01155. Acesso em: 22 jan. 2025.

DEMARCO, Jessica de Oliveira. APLICAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS NA RECUPERAÇÃO DE METAIS A PARTIR DE RESÍDUOS DE BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO E CATALISADORES AUTOMOTIVOS. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal

de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em:https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16601/DIS_PPGEQ_2019_DEMARCO_JES SICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 jan. 2025.

MARTINS, Lívia Salles; GUIMARÃES, Lucas Fonseca; BOTELHO JUNIOR, Amilton Barbosa; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares; ESPINOSA, Denise Crocce Romano. Electric car battery: an overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. **Journal Of EnvironmentalManagement**,[S.L.],v.295,p.113091,out.2021.

ELSEVIER BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113091. Disponívelem: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26167/1/ProcessosRecupera%c3%a7%c3%a3 oCobalto.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

MARTINS, Lívia Salles. **Reciclagem de baterias de veículos elétricos**: obtenção dos metais a partir de um processo hidrometalúrgico utilizando ácidos orgânicos. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-05072023-102835/. Acesso em: 25 jan. 2025.

MESHRAM, Pratima; MISHRA, Abhilash; ABHILASH; SAHU, Rina. Environmental impact of spent lithium ion batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review. **Chemosphere**, [S.L.], v. 242, p. 125291, mar. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125291.Disponívelem: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519325317. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA, Mauro Lúcio Naves. Estudo experimental das solubilidades de alguns ácidos em misturas hidro-alcoólicas. 2009. 380 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15051/1/mauro.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

PRADO, Alexandre G. S.. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 738-744, out. 2003. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422003000500018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/Lr7DQT8pwNDfDPYJ53DwH6J/. Acesso em: 22 jan. 2025.

YANG, Yue *et al*. On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective. **Energy Storage Materials**, [S.L.], v. 36, p. 186-212, abr. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.019.Disponívelem: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405829720304827. Acesso em: 20 jan. 2025.

Monitoramento e avaliação de uma ETA para remoção de ferro e manganês de água subterrânea.

Tanara Dariva Beux[1] , Assis Reinaldo Dariva Beux[2]
[1]*Universidade de Caxias do Sul /Universidade (tdbeux@ucs.br)*
[2]*Zeosolutions tratamento de água e efluente /Empresa (assis@zeosolutions.com.br)*

Resumo: O abastecimento de água potável pelas concessionárias no Brasil ainda não é universal, com 16,12% da população sem acesso a esse serviço. Nesse cenário, a utilização de água subterrânea como fonte alternativa de abastecimento é fundamental para muitas dessas pessoas. As águas subterrâneas do aquífero da Serra Geral apresentam pH inferior a 7,5, sendo predominantemente bicarbonatadas cálcicas e magnesianas. Também há registros de ferro e manganês em algumas áreas desse aquífero. A remoção de ferro e manganês pode ser realizada por diversas tecnologias, sendo que a combinação de oxidação química com filtração granular usando mídias catalíticas tem se mostrado uma solução eficaz. Este estudo tem como objetivo analisar a operação de uma estação de tratamento de água (ETA) para remoção de ferro e manganês de águas subterrâneas em uma indústria localizada no interior da Serra Gaúcha. Foram coletados dados de pH, ferro, manganês e cloro livre da água bruta e tratada. As análises foram realizadas em campo de duas a três vezes por semana. Além disso, também foram registrados dados sobre o consumo de água do poço e o consumo pela fábrica. Os resultados indicaram alta eficiência na remoção de ferro, embora tenham surgido dificuldades operacionais no controle do pH e do cloro livre. Já as análises de manganês não apresentaram precisão suficiente para confirmar a eficácia do processo.

Palavras-chave: Filtração, Ferro e manganês, Água potável.

Monitoring and evaluation of a water treatment plant for removal of iron and manganese from groundwater.

Abstract: The supply of drinking water by local utility companies in Brazil is not universal, with 16.12% of the population lacking access to this service. As a result, the use of groundwater as an alternative source is crucial for many of these people. Groundwater from the Serra Geral Aquifer has a pH below 7.5 and is predominantly bicarbonate, calcium, and magnesium-based. In some areas of the aquifer, there are also reports of iron and manganese. Iron and manganese removal can be achieved through various technologies, with chemical oxidation combined with granular filtration using catalytic media proving to be an effective solution. This study aims to evaluate the operation of a water treatment plant for removing iron and manganese from groundwater at an industrial site in the Serra Gaúcha region. Data on pH, iron, manganese,

and free chlorine levels in both raw and treated water were collected. The analyses were conducted on-site two to three times a week. Additionally, data on well water consumption and factory water usage were recorded. The results showed high efficiency in iron removal, although operational challenges were encountered in controlling pH and free chlorine levels. Manganese analyses, however, lacked sufficient accuracy to verify the effectiveness of the process.

Key words: Filtration, iron and manganese, Drinking water.

Introdução

A escassez de água é uma realidade que se agrava com o passar dos anos no mundo todo. No Brasil, são encontrados cenários de crise hídrica causados pela seca ou por cheias desde 2012 (ANA, 2021). Atualmente, 16,12% da população não possui abastecimento de água potável pelas concessionárias locais, sendo forçada a recorrer a meios alternativos de abastecimento. No Rio Grande do Sul, esse índice não é muito diferente, com 1.453.964 habitantes sem acesso a água potável pelas concessionárias, o que corresponde a 13,36% da população (IBGE, 2022).

Nesse contexto, muitas famílias e empresas dependem exclusivamente de águas subterrâneas para o seu abastecimento. A região da Serra Gaúcha possui dois aquíferos de onde são extraídas águas subterrâneas: o Sistema Aquífero da Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG). O SASG possui águas com pH inferior a 7,5 e, segundo a classificação de Piper, são águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas e, geralmente de boa qualidade, apresentando problemas limitados a contaminações microbiológica. Contudo, em áreas com maior incidência de atividade humana, urbana e industrial, a qualidade da água é comprometida por concentrações elevadas de ferro e manganês (Reginato, 2009, 2013).

A Portaria GM/MS n° 888 do Ministério da Saúde regulamenta os padrões de potabilidade da água no Brasil. Para os parâmetros de ferro e manganês, as concentrações limites são de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente (Brasil, 2021). Embora a presença de ferro na água não cause danos à saúde humana, concentrações superiores à 0,3 mg/L podem gerar gosto e odores desagradáveis, prejudicando nos padrões organolépticos exigidos pela portaria. Outros problemas relacionados à presença de ferro na água são a formação de depósitos em tubulações, manchas avermelhadas em louças, roupas e demais locais onde a água entra em contato. Já o consumo de águas contaminadas com manganês

gera efeitos danosos ao corpo humano, como alucinações, perda de memória, danos neurais, Parkinson, embolia e bronquite. Além disso, o manganês também gera problemas semelhantes ao ferro, como manchas enegrecidas e prejuízos organolépticos na água (Galangashi, 2020).

O ferro e o manganês normalmente são encontrados em águas subterrâneas nas suas formas solúveis. Para o ferro os estados de oxidação Fe^{2+} ou $Fe(OH)^{+}$ e, para o manganês, os estados de oxidação Mn^{2+} ou $Mn(OH)^{+}$ se apresentam solúveis em água. A presença desses contaminantes está associada à decomposição de minerais ferro-magnesianos presentes em rochas. Águas ácidas ou levemente ácidas auxiliam no processo de dissolução dessas rochas aumentando a concentração desses contaminantes (Moruzzi, 2012; Reginato, 2009).

Por serem contaminantes comuns em águas subterrâneas e águas superficiais, foram desenvolvidos diversos métodos de remoção com princípios e mecanismos variados. Cada um desses métodos possui vantagens e desvantagens em sua aplicação. Dependendo de fatores como volume e origem da água a ser tratada, concentração do contaminante, infraestrutura e recursos disponíveis, podem ser aplicados métodos diferentes com resultados similares (Moruzzi, 2012). A maioria dos métodos emprega uma etapa de oxidação das espécies solúveis de ferro e manganês e uma posterior separação física do precipitado formado. Alguns dos métodos citados na literatura para a remoção de ferro e manganês são troca iônica, filtração biológica, membranas de nanofiltração ou osmose inversa, coagulação-floculação, oxidação por ar e oxidação com agentes químicos. Vale destacar que os últimos três métodos mencionados devem ser seguidos, impreterivelmente, por uma etapa de separação física como decantação, filtração granular ou por membranas (ultrafiltração e microfiltração) (Barlokova, 2010; Chaturvedi, 2012).

Entre os métodos mencionados, o mais utilizado para a remoção de ferro e manganês de águas subterrâneas é a oxidação química seguida de filtração granular. A oxidação pode ser realizada com permanganato de potássio, hipoclorito de sódio ou cálcio, dióxido de cloro, cloro gasoso ou ozônio. A filtração granular, realizada após a oxidação, pode ser feita em meios inertes, adsortivos ou catalíticos. Areia e carvão antracito são inertes e removem ferro e manganês por retenção física das partículas precipitadas. Zeólita natural e carvão ativado possuem propriedades adsorventes, além da retenção física, adsorvendo íons e partículas co-

loidais da água (Chaturvedi, 2012). Meios catalíticos, como Birm ®, Watercell SFM ®, Watercell ZF ® e Greensand ®, contêm óxido de manganês que catalisa a oxidação do ferro e manganês, aumentando a capacidade adsortiva e a eficiência de remoção. Esses mecanismos combinados são mais eficientes do que as mídias inertes ou apenas adsortivas (Chaturvedi, 2012; Jia, 2014; Outram, 2016, 2017; Vistuba, 2010).

O mecanismo de remoção de manganês em mídias com recobrimento MnO_2 é dado pela reação de oxidação-adsorção. Inicialmente, o íon Mn^{2+} é adsorvido na superfície do material filtrante e, posteriormente, é oxidado. As reações apresentadas nas equações abaixo descrevem o mecanismo de remoção do manganês por mídias catalíticas com a utilização de hipoclorito como agente oxidante, sendo a primeira equação a descrição do processo de adsorção e a segunda do processo de oxidação (Jia, 2014; Outram, 2017, 2018).

$$Mn^{2+} + MnO(OH)_{2\ (s)} \rightarrow MnO_2MnO_{(s)} + 2H^+$$

$$MnO_2MnO_{(s)} + HOCl \rightarrow 2MnO_2 + H^+ + Cl^-$$

Inicialmente o mecanismo de remoção do ferro é adsortivo, similar ao mecanismo de remoção do manganês, mas à medida que a saturação dos sítios de adsorção ocorre, um segundo mecanismo de remoção de ferro pela reação de dissolução redutiva se inicia. Esse mecanismo pode resultar em problemas operacionais relacionados à liberação de manganês para a água tratada. Esse fenômeno foi denominado de envenenamento do leito, pois contamina a água tratada com manganês e reduz a quantidade de MnO_2 disponível para a adsorção e oxidação dos contaminantes. A reação descrita na equação abaixo mostra o mecanismo de remoção do Fe^{2+} por dissolução redutiva e consequente envenenamento do leito (Outram, 2017; Villinski, 2003).

$$MnO_{2\ (s)} + 2Fe^{2+} + 4H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 2Fe^{3+} + 2H_2O_{(l)}$$

Logo, para que o funcionamento da mídia catalítica seja pleno é necessário a dosagem de um agente oxidante na água. Essa dosagem de oxidante pode ser executada de duas maneiras: na água de retrolavagem, com regeneração intermitente do meio, ou continuamente na própria água a ser tratada, com regeneração do meio contínua. A dosagem intermitente possibilita que uma maior concentração de Fe^{2+} entre em contato com o meio de filtração, enquanto a dosagem contínua

auxilia na oxidação prévia do Fe^{2+} para Fe^{3+} evitando a ocorrência da dissolução redutiva do meio (Outram, 2017, 2018).

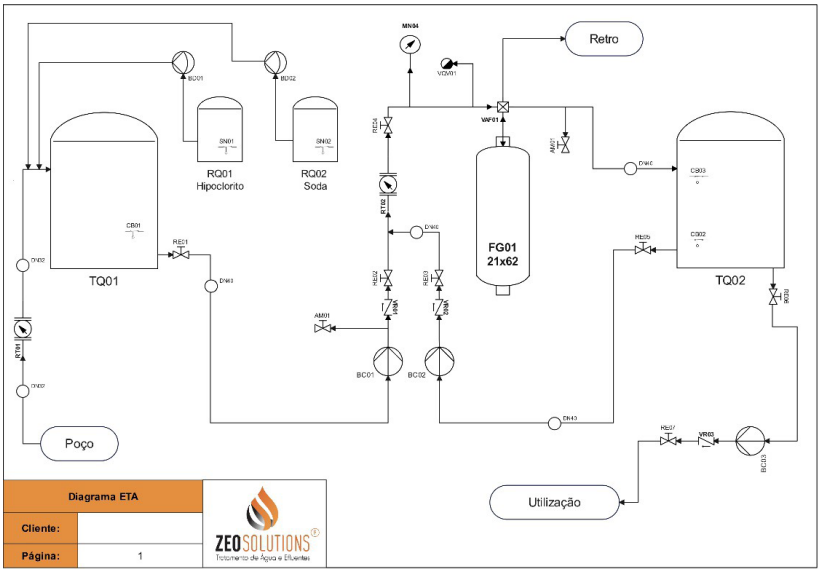
Outro aspecto importante para a cinética de oxidação dos metais em questão é o pH da solução. Como mencionado, pHs baixos favorecem a solubilização do ferro e do manganês, dificultando o processo de oxidação necessário para que ocorra a precipitação e remoção desses metais. Para o ferro, o pH que favorece a sua precipitação é próximo a 7,5, já o manganês exige um pH superior, sendo próximo a 8,5 para favorecer a precipitação do manganês (Moruzzi, 2012; Vistuba, 2010).

Neste trabalho será avaliado a eficiência de remoção de ferro e manganês e a ocorrência de envenenamento do leito de uma estação de tratamento de água (ETA) subterrânea. A ETA está localizada em uma indústria do interior da Serra Gaúcha que não é atendida pela concessionária da região (CORSAN) e depende exclusivamente da água do poço. Para efetuar as avaliações propostas, foram realizadas análises em campo de pH, teor de ferro, manganês e cloro livre entre duas e três vezes por semana. O desenvolvimento desse trabalho contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável lançados pela ONU em 2015, principalmente para garantir a disponibilidade e o manejo sustentável da água para todos. Visando a agenda 2030, este trabalho contribui para o objetivo de saúde e bem-estar, auxiliando na redução da taxa de mortalidade atribuída a fontes de água inseguras.

Materiais e Métodos

A ETA para remoção de ferro e manganês foi concebida conforme o diagrama apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama ETA



Fonte: O Autor

O TQ01 corresponde ao reator de oxidação e ajuste de pH. Nesse ponto, são dosados hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio para essas funções, respectivamente. As dosagens são ajustadas empiricamente por meio das medições de pH e cloro livre. O TQ02 armazena a água tratada, que é utilizada nas retrolavagens automáticas do filtro e no recalque para o consumo da indústria. Ambos os tanques de armazenamento (TQ01 e TQ02) possuem volume útil de 2 m³. O meio de filtração utilizado é composto de zeólita natural com recobrimento de óxido de manganês, depositado por ativação em permanganato de potássio. O meio filtrante utilizado é comercializado pela empresa Celta Brasil com o nome de Watercell®, com granulometria de 0,4 – 1,0 mm e composição química avaliada com a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) pela própria fabricante, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química Watercell ZF®

Composto	Fração	Composto	Fração
SiO_2	75%	Na_2O	5,0%
Al_2O_3	15%	K_2O	5,0%
Fe_2O_3	3,0%	MnO	0,5%
TiO_2	0,5%	P_2O_5	0,5%

CaO	5,0%	ZnO	0,5%
MgO	3,0%	CuO	0,1%

Fonte: Celta Brasil

Os dados de controle do sistema foram obtidos por análises em campo da água bruta, após a dosagem de produtos químicos, e da água tratada. Os ensaios foram realizados pela equipe técnica da própria empresa, responsável pelo acompanhamento e operação da ETA. Optou-se pelo controle operacional com análises em campo, ao invés de análises em laboratório externo credenciado, por dois fatores principais: o conhecimento dos dados em tempo real e o menor custo por análise. Apesar de serem mais precisas e confiáveis, as análises em laboratório externo demoram de 10 a 20 dias para a entrega do laudo e possuem um custo por amostra muito superior, o que torna inviável o volume de análises necessário para o controle operacional adequado. O período de observação da ETA foi de fevereiro de 2024 a dezembro de 2024, totalizando 318 dias de operação, com coleta de dados em 178 dias.

Além das análises físico-químicas, também foram registrados os dados de consumo da água do poço e da fábrica, a fim de monitorar o gasto com água para a retrolavagem e a vazão média consumida pela fábrica. Os dados de consumo acumulado foram coletados em hidrômetros analógicos instalados na saída do poço e no recalque para a fábrica. Com esses dados, é possível realizar o dimensionamento do filtro e definir se as especificações técnicas de tamanho do filtro e dos reservatórios são suficientes para a operação adequada do sistema.

Os dados de pH e cloro livre foram coletados aproximadamente a cada dois dias. As análises de pH foram realizadas com um equipamento portátil da marca Hanna Instruments, modelo HI98128, com resolução de 0,1 e precisão de ± 0,1. A calibração do equipamento é executada semanalmente e a verificação, diariamente. As análises de cloro livre foram realizadas com um equipamento portátil da marca Hanna Instruments, modelo HI701, com faixa de medição de 0,00 a 2,50 mg/L, resolução de 0,01 mg/L e exatidão de ± 0,03 mg/L a 25°C. O equipamento segue uma adaptação do método 330.5 USEPA para a determinação do teor de cloro livre na água.

As análises de ferro e manganês foram executadas a cada três dias com o auxílio de equipamentos portáteis da marca Hanna Instruments. Para a análise de ferro, foi utilizado um equipamento do modelo HI721,

que segue a adaptação do método 3500-Fe do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A faixa de detecção do equipamento é de 0,00 a 5,00 mg/L, com resolução de 0,01 mg/L e exatidão de ± 0,04 mg/L a 25°C. A análise de manganês foi realizada utilizando um equipamento do modelo HI709, com faixa de medição de 0,0 a 5,0 mg/L, resolução de 0,1 mg/L e exatidão de ± 0,2 mg/L. Esse equipamento segue uma adaptação do método de oxidação por periodato, desenvolvido pela Hach Company (Method 8034 – Hach Handbook of Wastewater Analysis).

Resultados e discussão

A vazão de operação média da ETA calculada foi de 0,59 m³/h e a vazão máxima registrada foi de 1,91 m³/h. Para a vazão máxima, o filtro consegue remover até 6 mg/L de ferro e manganês combinados. O filtro dimensionado atende a uma vazão de até 2,6 m³/h para a remoção de uma concentração combinada de ferro e manganês de até 4 mg/L. Logo, o filtro atende com margem de segurança a demanda de água consumida. No período de acompanhamento da ETA, foram filtrados 5.504 m³ de água e consumidos 3.855 m³. Logo, 30% do volume retirado do poço foi utilizado para a retrolavagem do filtro. A retrolavagem é programada para ocorrer automaticamente uma vez ao dia, durante 15 minutos, e com enxágue por mais 5 minutos. A vazão mínima de retrolavagem é de 5,59 m³/h e utiliza água filtrada. Portanto, um reservatório de 2 m³, como o instalado na ETA, supre a demanda de água para retrolavagem sem que falte água para o processo.

O reator de oxidação propicia a reação do hipoclorito com o ferro e o manganês e a desinfecção da água. A Portaria de Potabilidade especifica o tempo de detenção hidráulica da água em reservatório para que ocorra a sanitização completa. Seguindo as especificações da Portaria para o cenário mais desfavorável possível para desinfecção, onde o pH da água é 9 e a temperatura 5ºC, é necessário um volume mínimo de armazenamento de 1,7 m³. A reação de desinfecção obedece a uma cinética mais lenta que a reação de oxidação do ferro, sendo assim o volume de reator também é satisfatório para que a oxidação ocorra adequadamente.

Foi definido que o pH da água bruta deve ser mantido entre 8,5 e 9,0 para que a oxidação do manganês também seja favorecida. Para isso faz-se necessária a dosagem de hidróxido de sódio (soda), visto

que o pH da água succionada do poço tem valor próximo a 6,7. Isso é um indicativo que o poço perfurado está no aquífero da Serra Geral. A presença de ferro e manganês na água também corrobora para essa hipótese. O pH médio após a dosagem dos produtos químicos foi de 8,59 com desvio padrão de 0,57. Dos valores aferidos, 21% ficaram fora da faixa estabelecida. Na água tratada a média foi levemente superior, com valor de 8,61, desvio padrão de 0,58, e 25% dos dados ficaram acima do limite estabelecido. Esse aumento de pH da água bruta para a água tratada não era esperado, visto que as reações químicas que regem os mecanismos de remoção liberam H^+ o que levaria a uma redução de pH (Outram, 2017).

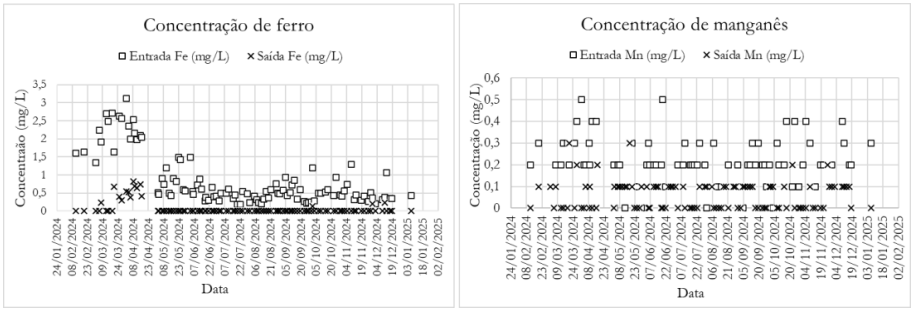
A concentração média de ferro na água bruta foi de 0,84 mg/L, com desvio padrão de 0,72 mg/L, indicando grande variabilidade. A eficiência global de remoção foi de 96%, com desvio padrão de 11%. Entre 20 de março e 16 de abril, a eficiência caiu para 75%, e o aumento na concentração de ferro na entrada, que atingiu 2,28 mg/L, pode ter influenciado na eficiência, resultando em uma concentração na saída de 0,56 mg/L, acima do limite de potabilidade. Durante esse período, ocorreram 10 situações de ferro acima do limite. No entanto, a concentração média de ferro no total de observações foi de 0,07 mg/L, com desvio padrão de 0,18 mg/L. Excluindo o período anômalo, a eficiência de remoção atingiu 99%, com concentração de ferro na saída de 0,01 mg/L e desvio padrão de 0,04 mg/L. A menor eficiência registrada foi 41% no dia 11/12, quando houve falta de cloro no sistema, indicando que o sistema é eficiente quando operado adequadamente.

Manter a concentração de cloro livre entre 1,5 e 2,5 mg/L é um desafio operacional, pois parte do cloro é consumido na oxidação de compostos e parte volatiliza. A concentração de ferro, manganês e outros compostos oxidados pelo hipoclorito também não é estável. Na água bruta, 66% dos resultados ficaram fora da faixa estabelecida (45% acima e 21% abaixo), sendo a maioria acima do limite. Embora a hiperdosagem de cloro não gere problemas operacionais, dosagens acima de 5 mg/L são prejudiciais à saúde. Na água tratada, 40% dos valores estavam fora da faixa de 0,5 a 2,5 mg/L (30% acima e 10% abaixo), o que indica que parte do cloro excessivo foi consumido por processos oxidativos ou volatilização.

A eficiência da remoção de manganês foi de 64%, com desvio padrão de 45%, indicando alta variabilidade. Em 9 dos 105 dias de

análise, a concentração de entrada foi inferior à de saída. O equipamento utilizado para análise de manganês em campo não possui precisão suficiente para uma avaliação plenamente confiável de eficiência, pois as concentrações analisadas estão próximas do limite de detecção e a variação de ± 0,2 mg/L supera o limite mínimo de manganês estabelecido. Assim, as análises de eficiência para manganês não são confiáveis, mas a análise de concentração é útil para identificar o fenômeno de envenenamento do leito. A dissolução redutiva por íons de Fe^{2+} libera íons de Mn^{2+} em concentração igual à metade da de ferro removida. A remoção máxima de ferro foi de 2,71 mg/L, e a média foi 0,78 mg/L, o que resultaria na liberação de 1,4 a 0,4 mg/L de manganês. Não foram observadas ocorrências desse tipo; nos dias com aumento de manganês, a entrada era normalmente nula, e o aumento não ultrapassou 0,1 mg/L. As concentrações de ferro e manganês na entrada e saída do sistema de tratamento são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Concentrações de ferro e manganês na entrada e saída do sistema



Fonte: O Autor

Conclusões

A ETA apresentou eficiência de 96% para a remoção de ferro da água, atingindo valores inferiores ao limite de potabilidade estabelecido pela GM/MS nº 888 na maioria dos dias de operação. Apenas no período entre 20 de março/24 e 16 de abril/24, a remoção de ferro foi insatisfatória. Os dados coletados são insuficientes para determinar a causa do mau funcionamento do sistema nesse período, visto que a concentração de ferro e manganês era compatível com o dimensionamento do sistema e o pH e o cloro livre se encontravam dentro das faixas estabelecidas para a operação adequada do sistema.

A eficiência de remoção de manganês não pode ser aferida com precisão adequada devido à limitações do método de análise adotado. Apesar disso, as concentrações de manganês aferidas não apontam para a ocorrência de envenenamento do leito. Isso indica que a regeneração do leito de maneira contínua pela dosagem de hipoclorito no reator de oxidação foi satisfatória para evitar a deterioração do leito e o escape de manganês para a água tratada.

A concentração de manganês na água tratada necessita ser avaliada por outro método. A implementação de um método de controle com análises externas, com menor limite de detecção, é indicada para garantir a segurança da água consumida. O manganês pode causar efeitos adversos à saúde, e o controle da sua concentração na água tratada é fundamental. Sugere-se a realização de análises mensais para determinar se a concentração de manganês na saída do sistema excede 0,1 mg/L, como determina a portaria de potabilidade. Além disso, as análises de controle em campo para a concentração de manganês devem ser mantidas, a fim de identificar prontamente a ocorrência de envenenamento do leito.

O controle da concentração de cloro livre no sistema é complexo e de difícil execução. Por isso, sugere-se a alteração da faixa de controle estabelecida para valores superiores, sendo permitidas concentrações de até 3,5 mg/L na água bruta e 3,0 mg/L no reservatório de recalque de água tratada. Para garantir que a concentração de cloro nos pontos de consumo não seja superior a 5,0 mg/L, sugere-se a implementação de mais pontos de controle da concentração de cloro diretamente na fábrica. Idealmente, a escolha de um ponto no início da linha de distribuição (ponto mais próximo da caixa de água) e outro no final da linha (ponto mais distante da caixa de água) seria recomendada.

A faixa de pH estabelecida para a água bruta, entre 8,5 e 9,0, foi selecionada para facilitar a oxidação do manganês. Visto que os mecanismos de remoção do manganês associados às mídias também facilitam o processo oxidativo do manganês, sugere-se a redução dessa faixa para 8,0 a 8,5. Valores que ainda são favoráveis à oxidação do manganês e irão diminuir a ocorrência da elevação do pH para valores fora da faixa de potabilidade, estabelecida pela GM/MS nº 888, como 9,0.

Logo, conclui-se que a tecnologia adotada para a ETA é eficiente e que o controle dos parâmetros de pH, cloro livre, ferro e manganês são imprescindíveis para garantir a boa operação do sistema. Com a

implementação da ETA, foi possível fornecer água de qualidade para o abastecimento da empresa, melhorando as condições de trabalho dos funcionários. O sistema instalado é acessível para indústrias de médio e grande porte, com pessoal capacitado para executar a operação e o controle do sistema.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021:** Relatório Pleno. Brasília: ANA, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS n° 888**. Brasília, DF, 4 de maio de 2021.

CHATURVEDI, S.; DAVE, P. N. Removal of iron for safe drinking water. **Desalination**, v. 303, p. 1-11, 2012.

GALANGASHI, A. M.; KOJIDI, S. F. M.; PENDASHTEH, A.; SOURAKI, B. A. *et al.* Removing iron, manganese and ammonium ions from water using greensand in fluidized bed process. **Journal of Water Process Engineering**, v. 39, p. 101714, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

JIA, H.; LIU, J.; ZHONG, S.; ZHANG, F. *et al.* Manganese oxide coated river sand for Mn (II) removal from groundwater. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 90, n. 9, p. 1727-1734, 2015.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, p. 29-43, 2012.

OUTRAM, John G.; COUPERTHWAITE, Sara J.; MILLAR, Graeme J. Comparative analysis of the physical, chemical and structural characteristics and performance of manganese greensands. **Journal of Water Process Engineering**, v. 13, p. 16-26, 2016.

OUTRAM, J. G.; COUPERTHWAITE, S. J.; MILLAR, G. J. Ferrous poisoning of surface MnO_2 during manganese greensand operation. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 5, n. 3, p. 3033-3043, 2017.

REGINATO, P. A. R. As águas subterrâneas associados aos aquíferos da formação da Serra Geral e sua caracterização hidroquímica. **In**: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. Águas Subterrâneas, 2009.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; SCHNEIDER, V. E. Caracterização hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região Nordeste do Rio Grande do Sul. Águas Subterrâneas, *[S. l.]*, v. 27, n. 1, 2013.

VISTUBA, J. P. **Remoção de ferro e manganês de água de abastecimento por meio de filtração adsortiva**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de

Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis.

Análise do Marco Legal das Energias Renováveis no Brasil e sua Conexão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Joel Frighetto[1], Ana Luíza Ilher Ferreira[2], Marilda Machado Spindola[3], Pâmela Tiele Gomes[4]

1 Mestrando em Direito, Graduando em Engenharia Elétrica – UCS/(jfrighetto1@ucs.br)
2 Graduanda em Direito – UCS/(aliferreira@ucs.br)
3 Graduada em Engenharia Elétrica e Direito. Mestre em Ciência da Computação. Doutora em Informática na Educação. Pesquisadora do Portotech – Instituto de Ciência e Tecnologia Aplicada. Professora e advogada./(mmspindola@ucs.br)
4 Graduanda em Direito – UCS/(ptgomes@ucs.br)

Resumo: O presente artigo analisa o marco legal das energias renováveis no Brasil e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 7, que busca garantir acesso universal à energia limpa, acessível e sustentável. São abordados os principais avanços legislativos, como a Lei nº 9.991/2000, que incentiva a pesquisa e o desenvolvimento em fontes renováveis, a Lei nº 14.300/2022, que regulamenta a micro e minigeração distribuída, e as Resoluções Normativas da ANEEL, que proporcionaram estabilidade regulatória e atraíram investimentos ao setor. O estudo também destaca o papel de programas como o PROINFA, que fomentaram a inclusão de fontes alternativas, como solar, eólica e biomassa, na matriz energética nacional. Apesar dos avanços, o Brasil ainda enfrenta desafios estruturais, como a falta de infraestrutura de armazenamento, a intermitência das fontes renováveis e a necessidade de constante atualização das regulamentações para acompanhar as inovações tecnológicas. Por fim, o artigo reforça a necessidade de maior cooperação entre os setores público e privado, bem como o fortalecimento de investimentos em pesquisa e inovação, para que o Brasil se consolide como líder global na transição para uma matriz energética sustentável e no cumprimento das metas da Agenda 2030.

Palavras-chave: Energias renováveis; Marco legal; Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Analysis of the Legal Framework for Renewable Energies in Brazil and Its Connection with the Sustainable Development Goals

Abstract: This article analyzes the legal framework for renewable energies in Brazil and its connection with the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 7, which aims to ensure universal access to clean, affordable, and sustainable energy. The study examines key legislative advances, such as Law nº 9.991/2000, which promotes research and development in renewable

energy, Law nº 14.300/2022, which regulates micro and mini distributed generation, and ANEEL's Normative Resolutions, which have provided regulatory stability and attracted investments in the sector. The role of programs like PROINFA, which fostered the inclusion of alternative energy sources such as solar, wind, and biomass into the national energy matrix, is also highlighted. Despite progress, Brazil still faces structural challenges, including a lack of energy storage infrastructure, the intermittency of renewable sources, and the need for continuous regulatory updates to keep pace with technological innovations. Finally, the article emphasizes the need for greater cooperation between public and private sectors and increased investment in research and innovation to position Brazil as a global leader in the transition to a sustainable energy matrix and in achieving the Agenda 2030 goals.

Key words: Renewable energies; Legal framework; Sustainable Development Goals

Introdução

O desenvolvimento sustentável consolidou-se como uma prioridade inadiável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela necessidade premente de reduzir a dependência global de combustíveis fósseis. Neste contexto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), instituídos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, configuram uma ambiciosa agenda internacional composta por 17 metas estratégicas que visam erradicar a pobreza, assegurar a preservação ambiental e promover o bem-estar coletivo, garantindo um futuro mais próspero e equitativo até o ano de 2030. (ONU, 2025).

Dentre esses objetivos, destaca-se o ODS 7, cujo escopo abrange a garantia do acesso universal a uma matriz energética acessível, confiável, sustentável e moderna, sendo um elemento central para viabilizar a transição para uma economia de baixo carbono. Ademais, sua inter-relação com outras metas, como a mitigação dos impactos climáticos (ODS 13) e o fomento à infraestrutura resiliente e à inovação tecnológica (ODS 9), evidencia sua relevância na construção de um modelo de desenvolvimento socioeconômico, pautado na sustentabilidade e na justiça intergeracional (Behr *et al.*, 2024; Collaço, 2023).

O Brasil, por sua vez, destaca-se no cenário global por seu vasto potencial para a geração de energia a partir de fontes renováveis, consolidando-se como um dos principais protagonistas na diversificação da matriz energética. Historicamente, o país possui forte dependência da geração hidrelétrica, mas tem avançado significativamente na incorporação de fontes intermitentes, como a solar e a eólica, impulsio-

nando a modernização do setor elétrico. Esse movimento de transição energética tem sido viabilizado por meio de um arcabouço regulatório sólido e progressivo, que tem desempenhado um papel determinante na formulação de políticas públicas e na implementação de incentivos econômicos voltados para a aceleração do desenvolvimento das energias limpas (Silva, 2024).

Nesse sentido, o Plano Nacional de Energia (PNE) emerge como um dos principais instrumentos normativos para o planejamento estratégico do setor, estabelecendo diretrizes e metas voltadas ao aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética nacional (PNE, 2025). O documento prevê o fortalecimento de fontes como biomassa, solar fotovoltaica e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), além de estabelecer mecanismos para garantir a segurança do abastecimento energético e fomentar a transição para uma economia menos intensiva em emissões de carbono (Amaral *et al.*, 2024).

Para viabilizar tais objetivos, o PNE conta com um conjunto de mecanismos de incentivo financeiro e tributário que desempenham um forte papel na viabilização de novos empreendimentos voltados à geração de energia renovável. Entre esses instrumentos, destacam-se o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que impulsionou a inserção de fontes limpas na matriz elétrica brasileira; o FINAME, que proporciona condições de financiamento atrativas para projetos de infraestrutura energética; e a concessão de isenções fiscais, como a desoneração de ICMS e IPI para equipamentos e tecnologias voltados à geração renovável (PNE, 2025, Silva, 2024; Amaral *et al.*, 2024).

Todavia, apesar dos avanços obtidos, persistem desafios estruturais que impõem entraves à plena consolidação de um setor energético verdadeiramente sustentável. A ausência de infraestrutura adequada para o armazenamento de energia, aliada à intermitência característica de determinadas fontes renováveis, compromete a estabilidade do sistema elétrico nacional, demandando investimentos robustos em inovação tecnológica para garantir maior confiabilidade operacional (Collaço, 2023).

Além disso, o arcabouço regulatório do setor enfrenta obstáculos significativos, como a morosidade na implementação de novas normativas, a sobrecarga da rede elétrica e a necessidade de constante atualização legislativa para acompanhar o dinamismo das inovações

tecnológicas emergentes (Iamamoto *et al.*, 2024). Soma-se a isso a insuficiência de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltados à ampliação da eficiência energética e ao aprimoramento de tecnologias de armazenamento, fator que limita o avanço do setor e compromete sua competitividade em longo prazo (Behr *et al.*, 2024).

Superar tais desafios requer uma abordagem coordenada e multissetorial, fundamentada no fortalecimento da colaboração entre os setores público e privado, bem como na ampliação do engajamento da sociedade civil na formulação e implementação de políticas energéticas sustentáveis. Apenas por meio da conjugação de esforços e da adoção de estratégias integradas será possível consolidar o Brasil como uma referência global na transição para um modelo energético sustentável, promovendo o alinhamento do país com os compromissos estabelecidos na Agenda 2030 e contribuindo para um futuro energético mais equitativo, resiliente e ambientalmente responsável (Collaço, 2023; Silva, 2024).

Análise do Marco Legal das Energias Renováveis no Brasil

O marco legal das energias renováveis no Brasil desempenha importante papel na promoção de uma matriz energética mais diversificada e sustentável. Desde a década de 2000, várias iniciativas legislativas têm sido implementadas para fomentar o desenvolvimento de fontes renováveis de energia, como solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Um exemplo inicial foi a aprovação da Lei nº 9.991/2000, que determinou que distribuidoras de energia elétrica destinem um percentual mínimo de sua receita operacional líquida para a pesquisa e o desenvolvimento de fontes renováveis (Brasil, 2000, Silva, 2024). Essa medida foi essencial para consolidar as bases do incentivo à inovação e à modernização tecnológica do setor elétrico brasileiro.

Outro marco importante foi a aprovação da Lei nº 14.300/2022, que instituiu o marco regulatório da micro e minigeração distribuída no Brasil. Essa legislação permitiu que consumidores residenciais, comerciais e industriais pudessem gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis e utilizassem o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (regulado pela ANEEL), reduzindo custos e promovendo maior independência energética (Brasil, 2022). Além disso, a lei trouxe segurança jurídica para o setor, incentivando novos investimentos e

permitindo o crescimento exponencial de instalações solares e eólicas no país (Amaral *et al.*, 2024). Essa medida tem sido destacada como fundamental para democratizar o acesso à energia limpa e reduzir a pressão sobre o sistema elétrico centralizado.

As Resoluções Normativas da ANEEL, como a REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e a REN nº 1.000/2021 (ANEEL, 2021), também foram essenciais para o avanço das energias renováveis no Brasil. A REN nº 482/2012, por exemplo, regulamentou a geração distribuída, estabelecendo diretrizes claras para a conexão de micro e minigeradores à rede elétrica. Já a REN nº 1.000/2021 consolidou e modernizou as normas do setor, adaptando-se às novas tecnologias e demandas do mercado (Silva, 2024; Collaço, 2023). Essas normativas têm garantido estabilidade regulatória e atraído investimentos nacionais e internacionais para o setor.

Além disso, programas de incentivo como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) auxiliaram na ampliação do uso de fontes renováveis na matriz energética. Implementado em 2002, o PROINFA foi responsável pela contratação de energia de usinas eólicas, de biomassa e pequenas hidrelétricas, garantindo contratos de longo prazo que viabilizaram o desenvolvimento de novas tecnologias no país.(ENBPAR, 2025). De acordo com Behr *et al.* (2024), o PROINFA foi um divisor de águas para o setor, promovendo o crescimento das energias renováveis e diversificando a matriz energética brasileira.

Apesar dos avanços promovidos por esses marcos legais, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos no setor. Segundo Iamamoto *et al.* (2024), um dos principais entraves é a falta de integração entre as políticas públicas e os investimentos em inovação tecnológica, especialmente em áreas como armazenamento de energia e interconexão de redes. Além disso, a intermitência de fontes como solar e eólica exige maior desenvolvimento de infraestrutura para garantir a estabilidade do sistema elétrico. Assim, embora o marco legal tenha promovido avanços notáveis, ainda há um caminho a ser percorrido para que o Brasil alcance plenamente seu potencial em energias renováveis.

Energias renováveis e desenvolvimento sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), instituídos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, configuram-se

como um pacto global abrangente, cujo propósito é mitigar os desafios mais prementes da contemporaneidade nos âmbitos social, econômico e ambiental, com horizonte de implementação até 2030. Dentre os 17 objetivos estabelecidos, o ODS 7 assume papel de destaque por sua missão de garantir o acesso universal a uma matriz energética que seja, simultaneamente, acessível, confiável, sustentável e tecnologicamente moderna.(ONU, 2025).

Nesse contexto, a promoção e expansão das tecnologias para a obtenção de energias renováveis no Brasil surgem como elementos fundamentais para a materialização desse compromisso internacional. O país dispõe de um vasto potencial para a geração de eletricidade, a partir de fontes limpas e renováveis (Collaço, 2023). A abundância de recursos naturais, como a radiação solar intensa, os ventos constantes em diversas regiões e a biomassa disponível, confere ao Brasil uma posição estratégica para liderar a transição energética em nível global.

Segundo Silva (2024), a implementação de políticas públicas estruturadas e a consolidação de um marco regulatório eficiente têm sido fatores determinantes para impulsionar o avanço do ODS 7 no Brasil. Entre os instrumentos normativos de maior relevância destaca-se o Plano Nacional de Energia (PNE), que estabelece diretrizes e metas claras para a ampliação da participação das fontes renováveis na matriz elétrica nacional, promovendo, assim, maior sustentabilidade e segurança energética.

Além disso, programas estratégicos, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), desempenham um importante papel ao fomentar a diversificação da matriz energética por meio da integração de fontes alternativas, como biomassa, energia eólica e solar fotovoltaica. Essas iniciativas não apenas contribuem para a redução da dependência de fontes fósseis, mas também alinham o Brasil às metas globais de sustentabilidade, reforçando seu protagonismo na transição para um modelo energético mais limpo, resiliente e ambientalmente responsável. (ENBPAR, 2025).

A conexão entre as políticas energéticas brasileiras e os ODS também é evidenciada pelo impacto positivo na redução das emissões de gases de efeito estufa. Segundo Behr *et al.* (2024), a expansão das fontes renováveis contribuiu para a descarbonização do setor elétrico, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo a transição para uma economia de baixo carbono. Essa descarbonização é

um dos pilares para o cumprimento do ODS 13, que visa combater as mudanças climáticas e seus impactos.

Além do ODS 7 e do ODS 13, as iniciativas de promoção das energias renováveis no Brasil contribuem para outros objetivos, como o ODS 9 (indústria, inovação e infraestrutura) e o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis). Iamamoto *et al.* (2024), ressaltam que o desenvolvimento tecnológico e a inovação são fundamentais para aprimorar a eficiência das fontes renováveis, bem como para fomentar a criação de empregos verdes e a inclusão social. Nesse sentido, vislumbra-se a criação de startups cleantech, por exemplo, que tem emergido como importante agente de mudança, promovendo tecnologias inovadoras para o setor energético.

Amaral *et al.* (2024) argumentam que, embora o Brasil tenha avançado significativamente na integração dos ODS às suas políticas energéticas, os desafios ainda persistem. A necessidade de implementar infraestrutura de transmissão e armazenamento, além da manutenção contínua nos sistemas de serviços já existentes, juntamente com a adaptação das regulamentações para refletir novas tecnologias, é essencial para garantir que o país continue progredindo em direção aos seus compromissos globais de sustentabilidade. A colaboração entre o governo, o setor privado e a sociedade civil é necessária para fortalecer a conexão entre as políticas energéticas e os ODS. Destarte, o Brasil poderá ter alguma chance de ser indicado como líder na transição para uma economia verde e sustentável.

Desafios e perspectivas

Apesar dos expressivos avanços observados tanto no aprimoramento do arcabouço regulatório quanto na expansão das fontes renováveis no Brasil, o setor energético ainda se depara com desafios estruturais e tecnológicos de grande complexidade. A superação dessas barreiras é essencial para assegurar o fortalecimento econômico, alinhado aos princípios estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 7, que preconiza o acesso universal a uma matriz energética limpa, segura e eficiente. (ENBPAR, 2025).

Dentre os entraves mais críticos, destaca-se a fragilidade da infraestrutura energética nacional, particularmente no que tange à capacidade de armazenamento e à estabilidade da rede elétrica. A intermitência inerente às fontes eólica e solar impõe a necessidade de investimentos

substanciais em tecnologias avançadas, tais como sistemas de baterias de alta densidade energética e redes elétricas inteligentes (Collaço, 2023). Essas inovações são fundamentais para otimizar o gerenciamento da geração e distribuição de energia, assegurando a continuidade do abastecimento mesmo diante das variações naturais de geração.

Conforme aponta Silva (2024), a insuficiência de uma infraestrutura robusta para transmissão e armazenamento configura um fator limitante para a ampliação da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Esse gargalo técnico impede o aproveitamento pleno do vasto potencial energético do país, restringindo sua capacidade de consolidar-se como um líder global na transição para uma economia de baixo carbono. Assim, torna-se imperativo que sejam formuladas e implementadas estratégias de modernização do setor elétrico, garantindo um ambiente regulatório e tecnológico capaz de impulsionar o desenvolvimento sustentável e a segurança energética no longo prazo.

Outro grande desafio está relacionado à regulação do setor. Embora a Lei nº 14.300/2022 tenha proporcionado maior segurança jurídica para a micro e minigeração distribuída, ainda há dificuldades na implementação de normas que incentivem novos investimentos e garantam a estabilidade econômica do setor. Amaral *et al.* (2024) destacam que a demora na atualização de regulamentações, somada à burocracia para aprovação de novos projetos, dificulta a inserção de tecnologias inovadoras e limita a competitividade das energias renováveis frente às fontes tradicionais. Além disso, os subsídios destinados ao setor precisam ser ajustados para equilibrar a sustentabilidade financeira das distribuidoras de energia e a viabilidade econômica dos pequenos produtores.

A inovação tecnológica também é um fator determinante para o futuro das energias renováveis no Brasil. O incentivo à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) tem um papel fundamental na busca por soluções mais eficientes, como novos materiais para painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas de maior rendimento e tecnologias de hidrogênio verde. Entretanto, Iamamoto *et al.* (2024) ressaltam que os investimentos em inovação no setor energético ainda são insuficientes no Brasil, especialmente quando comparados a países líderes em transição energética, como Alemanha e Estados Unidos. A falta de financiamento adequado para startups cleantech e para projetos de inovação limita o avanço tecnológico e retarda a adoção de novas soluções no mercado nacional.

Diante desses desafios, o fortalecimento da cooperação entre o setor público, privado e a sociedade civil é essencial para garantir a expansão dos sistemas de geração de energias renováveis de forma sustentável. Collaço (2023) argumenta que a implementação de políticas públicas mais eficazes, aliadas a incentivos financeiros e fiscais, pode acelerar a transição energética e atrair mais investimentos para o setor. Além disso, Behr *et al.* (2024) apontam que a conscientização da população e a ampliação do acesso a programas de eficiência energética são estratégias fundamentais para consolidar um modelo energético mais sustentável. Assim, superar os desafios existentes exigirá uma abordagem integrada, que combine avanços regulatórios, inovação tecnológica e incentivos econômicos para impulsionar a transição para uma matriz energética mais limpa e resiliente.

Conclusão

O marco legal brasileiro relativo às energias renováveis avançou consideravelmente nas últimas décadas, evidenciando um esforço institucional e legislativo para adequar-se às exigências contemporâneas de sustentabilidade e inovação tecnológica. Iniciativas como a Lei nº 9.991/2000, a Lei nº 14.300/2022 e as diversas Resoluções Normativas da ANEEL constituem instrumentos jurídicos relevantes para a promoção de uma matriz energética mais limpa e diversificada. Todavia, mesmo diante dos avanços normativos e das políticas públicas implementadas, persistem entraves estruturais significativos que dificultam a consolidação de um setor energético verdadeiramente sustentável. Dentre os principais desafios, destacam-se a falta de infraestrutura de armazenamento, a intermitência das fontes renováveis, a necessidade de atualização constante do aparato regulatório e a carência de investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

A partir da análise empreendida, pode-se afirmar que o marco legal das energias renováveis no Brasil representa uma base promissora, mas ainda insuficiente, para garantir o alcance das metas propostas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 7. Nessa perspectiva, entende-se que o fortalecimento da articulação entre os setores público, privado e acadêmico, aliado a uma política energética integrada e transparente, constitui caminho imprescindível para a superação dos obstáculos ainda existentes.

Destarte, o Brasil possui plenas condições de se consolidar como uma liderança global no campo das energias renováveis, pois possui conhecimento referenciado nas diferentes áreas produtivas de energia, contudo a transição para uma matriz energética sustentável não deve ser compreendida apenas como um imperativo intelectual e ambiental. Há sim, uma urgência de comprometimento governamental para o desenvolvimento socioeconômico equitativo, em consonância com os preceitos estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

Referências

AMARAL, V. R.; BÜTTENBENDER, P. L.; THESING, N. J. Novo marco legal à geração distribuída de energia elétrica no Brasil: uma abordagem das principais mudanças. Informe GEPEC, v. 28, n. 1, p. 449–470, 2024. DOI: 10.48075/igepec.v28i1.31536.

ANEEL – Resolução Normativa N° 482/2012. Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. Disponível em:https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acesso em 16 abr. 2025.

ANEEL – Resolução Normativa N°1000/2021. Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html. Acesso em 16 abr. 2025.

BEHR, M. E.; REGIS, P. H. J.; RESENDE, N.; GUBERT, R. V. S. Tendências e desafios na transição para energias renováveis. Belo Horizonte: UFMG, 2024.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Estabelece que concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica devem investir em pesquisa e desenvolvimento. Disponível em: http://www.planalto.gov.br. Acesso em: 28 jan. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da micro e minigeração distribuída. Disponível em: http://www.planalto.gov.br. Acesso em: 28 jan. 2025.

COLLAÇO, F. M. A. Políticas públicas e instrumentos para transição energética: uma revisão sistemática da literatura. São Paulo: University of São Paulo, 2023.

ENBPAR – Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Disponível em: https://enbpar.gov.br/areas-de-atuacao/programas-setorias/proinfa/. Acesso em 16 abr. 2025.

IAMAMOTO, A. T.; DUGONSKI, F. C. V.; TUMELERO, C. Capacidades tecnológicas de startups cleantech e políticas fiscais verdes: uma análise da promoção de P&D de ecoinovações em energias renováveis. Revista IPTEC, v. 12, n. 1, p. 1–21, 2024.

ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso 16 abr. 2025.

PNE – Plano Nacional de Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-p ne. Acesso em 16 abr. 2025.

SILVA, H. M. O. Geração distribuída no Brasil: histórico, cenário atual, oportunidades e desafios. Fortaleza: Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado do Ceará, 2024.

Reparo em lâmpadas LED pós-consumo com *jumpers*: uma análise preliminar de durabilidade

Josimar Souza Rosa, Tales Oliveira Figueiró, Feliciane Andrade Brehm, Carlos Alberto Mendes Moraes
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (js-rosa@hotmail.com; talesfiguero@gmail.com; felicianeb@unisinos.br; cmoraes@unisinos.br)

Resumo: Cada vez mais a população utiliza equipamentos eletroeletrônicos (EEE) em seu dia a dia. Como resultado, o volume de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) também vem aumentando nos últimos anos. As lâmpadas de tecnologia LED possuem componentes que as caracterizam como um REEE quando descartadas. Considerando o conceito de economia circular, algumas estratégias podem ser adotadas para extensão da vida útil de lâmpadas LED, como por exemplo, o reparo. Nesta pesquisa, uma pequena amostra de lâmpadas coletada dentre um lote descartado pela população na cidade de Porto Alegre foi reparada substituindo o LED danificado por uma ponte (*jumper*). Este reparo, muito simples, é realizado inclusive por pessoas leigas, sendo comum encontrar na internet vídeos demonstrando como realizá-lo. Contudo, não há evidências científicas registradas sobre a durabilidade destas lâmpadas LED após o reparo. Neste sentido, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a durabilidade de lâmpadas LED do tipo bulbo após o reparo, incluindo uma medição da sua intensidade luminosa após um longo período de operação. Os resultados mostraram que algumas lâmpadas tiveram durabilidade adicional de mais de 4000 h após o reparo, o que representa 16% da vida útil prevista para lâmpadas novas segundo as normativas do Inmetro. Além disso, estas lâmpadas mantiveram intensidade luminosa suficiente para atender aplicações reais previstas pela norma ABNT NBR/ISO 8995 que trata da iluminação em ambientes de trabalho.

Palavras-chave: Durabilidade. Lâmpadas LED. Reparo. Jumper.

Repair in post-consumer LED lamps using jumpers: a preliminary durability analysis

Abstract: The population is increasingly using electronic equipment (EEE) in their daily lives. As a result, the volume of waste from electronic equipment (WEEE) has also been increasing in recent years. LED technology lamps have components that characterize them as WEEE when discarded. Considering the concept of circular economy, some strategies can be adopted to extend the useful life of LED lamps, such as repair. In this research, a small sample of lamps collected from a batch discarded by the population in the city of Porto Alegre was repaired by replacing the damaged LED with a *jumper*. This repair,

which is very simple, is carried out even by lay people, and it is common to find videos on the internet demonstrating how to do it. However, there is no scientific evidence recorded on the durability of these LED lamps after repair. In this sense, the general objective of this research was to evaluate the durability of LED bulb-type lamps after repair, including a measurement of their luminous intensity after a long period of operation. The results showed that some lamps had an additional durability of more than 4,000 hours after repair, which represents 16% of the expected useful life for new lamps according to Inmetro standards. In addition, these lamps maintained sufficient light intensity to meet real applications provided for by ABNT NBR/ISO 8995 standard, which deals with lighting in work environments.

Key words: Durability. LED lamps. Repair. Jumper.

Introdução

Nas últimas décadas houve uma popularização dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE) nas mais variadas aplicações do cotidiano humano. Assim como qualquer outro produto, os EEE possuem uma vida útil e ao chegar no final dela, eles são descartados pelos usuários, sendo então denominados de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Relatórios elaborados por organismos internacionais, como o "The Global E-Waste Monitor", demonstram que nos últimos anos o volume de REEE produzidos vem aumentando.

No relatório de 2020, Forti *et al.* (2020) reportaram que no ano de 2019 o mundo produziu 53,6 milhões de toneladas (Mt) de REEE, sendo apenas 17,4% oficialmente registrado como coletado e reciclado. Em comparação com 2014, a geração em 2019 aumentou 9,2 Mt, mas a reciclagem aumentou apenas 1,8 Mt, evidenciando que o crescimento da reciclagem não vem acompanhando o crescimento da geração de REEE no mundo.

No relatório mais recente, Baldé *et al.* (2024) informam que em 2022 foram produzidos 62 Mt de REEE no mundo, dos quais 22,3% foram documentados como coletados e reciclados. É evidente que a geração deste tipo de resíduo vem aumentando nos últimos anos e mantendo a tendência de aumento para os próximos anos.

Dentre as categorias de REEE quantificadas pelo "The Global E-Waste Monitor" estão as lâmpadas, incluindo os modelos fluorescentes, de descarga de alta intensidade e as lâmpadas LED. Em 2022, segundo Baldé *et al.* (2024) foram gerados 1,9 Mt de REEE lâmpadas, representando pouco mais de 3% do total gerado, esse valor embora apresente um percentual pequeno, é bastante representativo devido

ao baixo peso das lâmpadas em relação aos outros componentes que formam os REEEs.

Em particular as lâmpadas de tecnologia LED são constituídas de diferentes metais considerados críticos e raros cuja recuperação adequada pode ser de interesse. Também podem possuir materiais tóxicos, e por isso são classificados como resíduos perigosos de acordo com a Lei n° 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. Além da reciclagem destes materiais, uma alternativa para este REEE é o reparo para extensão da sua vida útil.

Um estudo conduzido por Rosa *et al.* (2023) mostrou que em um lote de 831 lâmpadas LED do tipo bulbo descartadas pela população na cidade de Porto Alegre entre os anos de 2021 e 2022, ainda havia 110 unidades que funcionavam em boas condições (13.2%). Os motivos dos descartes ainda são desconhecidos, e podem futuramente ser objeto de pesquisa. De fato, estudos posteriores realizados pelos mesmos autores em outros lotes de lâmpadas confirmam a existência de uma parcela significativa de lâmpadas LED funcionais entre unidades descartadas.

Uma solução alternativa proposta por alguns autores para as lâmpadas que não funcionam adequadamente é o reparo. Wehbie e Semetey (2022) investigaram o potencial para reuso, reparo e reciclagem de lâmpadas LED em fim de vida. Os autores verificaram que aproximadamente 30,8% das lâmpadas LED analisadas ainda estavam funcionais e poderiam, segundo a análise deles, ser reutilizadas ou comercializadas. O estudo mostrou também que mais da metade das lâmpadas ainda tinham partes que funcionavam perfeitamente, como a placa de circuito impresso ou o *chip* de LEDs.

As tentativas de recolocar lâmpadas LED descartadas novamente em operação para extensão da sua vida útil, seja porque constatou-se que ainda funciona ou seja porque foi reparada, corroboram com o conceito de economia circular. Neste sentido, Rahman *et al.* (2019) identificou que existem desafios para a aplicação de uma cadeia circular para as lâmpadas LED como a variabilidade de *design*, falta de testes sofisticados e a demanda mercadológica para estes produtos. O estudo sugere que a implementação de políticas para o desenvolvimento de mercados secundários pode ser crucial para aprimorar as operações de reciclagem ou reuso de lâmpadas LED. A análise de viabilidade econômica realizada pelos autores indica que a reutilização de lâmpadas em funcionamento pode ser lucrativa, mas barreiras significativas perma-

necem na aceitação do consumidor. Uma outra pesquisa realizada por Rahman *et al.* (2021) sugere que embora a reciclagem seja a estratégia dominante para as lâmpadas LED, estratégias como reutilização e remanufatura devem ser priorizadas para resultados melhores em termos de sustentabilidade.

Considerando o aspecto de aceitação do consumidor, é fundamental que lâmpadas LED tenham uma vida útil relevante, em termos de quantidade de horas acessas, para que o reuso ou recuperação seja viável em comparação com a durabilidade prevista para lâmpadas novas.

Vale ressaltar que atualmente é possível adquirir lâmpadas LED com preços baixos. É comum encontrarmos no mercado lâmpadas LED de 9 W com preço abaixo de R$3,00, o que pode desencorajar os consumidores a comprarem lâmpadas de reuso ou recicladas. Por este motivo, analisar a durabilidade destes itens é fundamental.

Neste artigo, o objetivo geral foi avaliar a durabilidade de lâmpadas LED do tipo bulbo após o reparo, incluindo uma medição da sua intensidade luminosa após um longo período de operação. Trata-se de um estudo preliminar no qual o reparo realizado foi uma simples ponte, conhecida pelo termo *jumpers,* em substituição a algum LED que estivesse danificado na lâmpada.

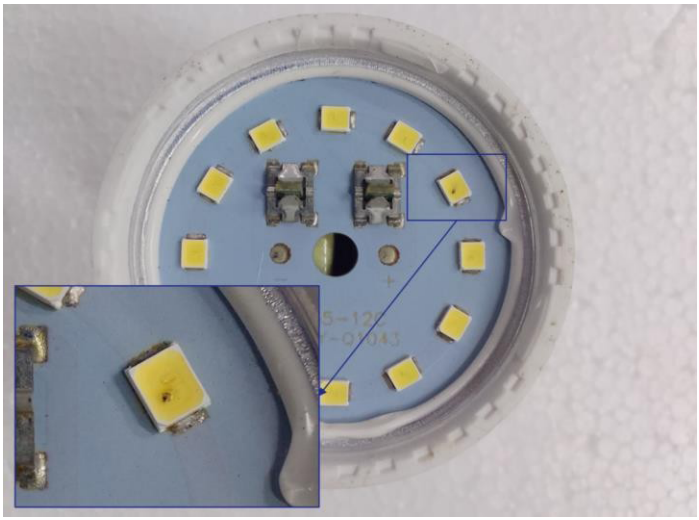
Metodologia

A metodologia para a realização desta pesquisa incluiu três etapas principais. A primeira foi a análise e realização do reparo em lâmpadas. A segunda etapa envolveu testes de durabilidade em bancada. A terceira etapa da pesquisa foi a análise dos resultados obtidos.

Reparo das lâmpadas

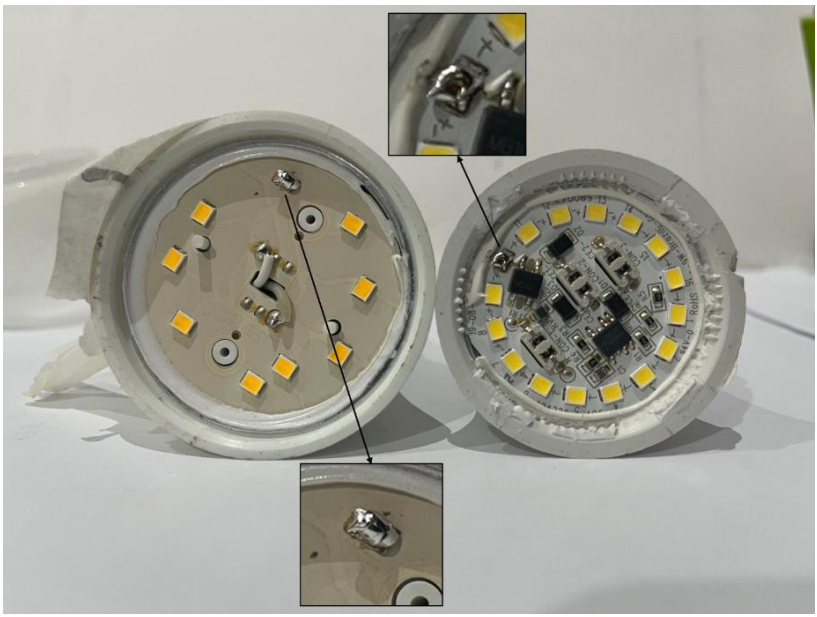
As lâmpadas LED do tipo bulbo utilizadas nesta pesquisa foram selecionadas com base em um defeito específico que é muito comum neste tipo de produto: a queima de um LED. Como na maioria das lâmpadas comercializadas a ligação do circuito de LEDs é realizada em série, se apenas um LED deixar de funcionar todos os outros também param, pois não recebem mais energia. Com esta falha, em geral a lâmpada acaba sendo descartada pelo usuário. A Figura 1 mostra esta falha típica das lâmpadas LED. Observe no detalhe que há um pequeno ponto escuro sobre a superfície amarela do LED, que indica algum processo de falha neste componente.

Figura 1 – LED queimado em lâmpada do tipo bulbo



A metodologia de reparo proposta nesta pesquisa foi a simples remoção do LED danificado e a ligação dos terminais por meio de uma ponte (*jumper*) utilizando solda de estanho, como mostra a Figura 2 referente a algumas lâmpadas utilizadas nesta pesquisa.

Figura 2 – Detalhes do reparo realizado nesta pesquisa



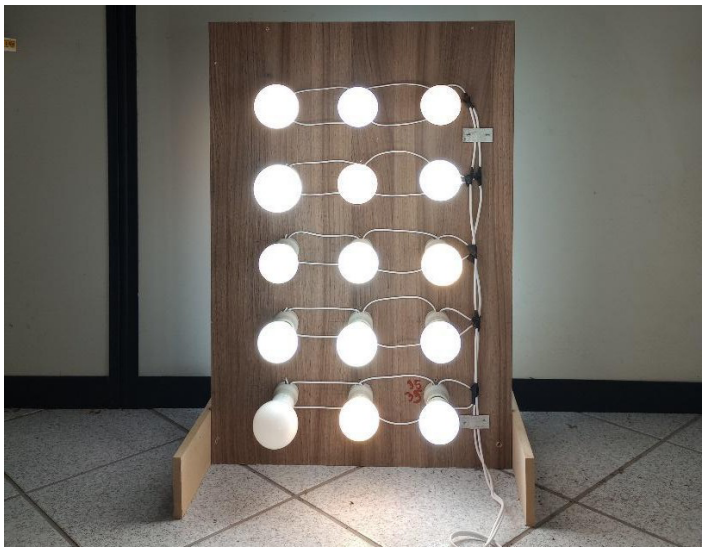
O método de reparo realizado só pode ser aplicado se a falha for aquela mostrada na Figura 1.

É evidente que diferentes tipos de falhas podem ocorrer em lâmpadas LED, por se tratar de um produto eletroeletrônicos com diferentes componentes, e a durabilidade das lâmpadas LED que sofreram outros tipos de reparados pode ser objeto de estudo futuramente.

Testes de durabilidade em bancada

Após o reparo, as lâmpadas foram instaladas em uma bancada que foi montada para realização do teste de durabilidade, conforme exibido na Figura 3. Nesta bancada as lâmpadas permaneciam funcionando ininterruptamente, até que deixassem de funcionar novamente ou, em alguns casos, acabaram permanecendo na bancada até 27 de janeiro de 2025 quando foram removidas para análise e inclusão dos dados neste artigo.

Figura 3 – Bancada para teste de durabilidade



Diariamente a equipe de pesquisa realiza uma verificação da bancada para registrar a condição de operação de cada lâmpada. Os dados foram registrados em planilha eletrônica.

Análise dos resultados

A análise dos resultados consistiu na avaliação do número de horas que as lâmpadas permaneceram funcionando depois do reparo e na

análise da intensidade luminosa após o teste de durabilidade. A intensidade luminosa foi medida utilizando-se um luxímetro portátil da marca Minipa, modelo MLM-1011, instalado a 1 m de distância da lâmpada.

Durante os testes, algumas lâmpadas deixaram de funcionar com um número de horas de operação baixo, e por consequência disso não foi possível realizar o registro da intensidade luminosa.

Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de durabilidade de lâmpadas que pararam de funcionar desde a sua inserção na bancada de testes até a data de 27 de janeiro de 2025. As lâmpadas reparadas que tiveram maior durabilidade chegaram a 4.368 h ininterruptas de operação. As lâmpadas N° 1 e N° 9, de acordo com o sistema de numeração pra identificação utilizado nesse estudo, ambas de 9 W, apresentaram ao final do teste intensidade luminosa inferior aos valores medidos para lâmpadas novas da mesma potência, para as quais Rosa *et al.* (2023) obtiveram uma média em torno de 220 lux. A lâmpada N° 4, de 12 W, que também durou 4.368 h após o reparo, apresentou ao final do teste intensidade luminosa de 319 lux. Uma medição realizada com uma lâmpada nova de 12 W resultou em 430 lux. A redução da intensidade luminosa da lâmpada ao longo da sua vida de uso é um fato esperado e previsto em regulamentos e normas. Não existe previsão deste comportamento para lâmpadas que passam por processo de reparo. Apesar de em todos os casos citados até aqui o valor da intensidade luminosa ser menor do que aquele medido para lâmpadas novas, é evidente que elas ainda podem ser utilizadas em diferentes aplicações. As intensidades luminosas medidas e apresentadas na Tabela 1 para as lâmpadas N° 1, 4 e 9 não são desprezíveis do ponto de vista de possibilidade de uso, do contrário fornecem uma boa iluminação para diferentes tipos de ambientes.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de durabilidade

N° para identificação da lâmpada	Potência (W)	N° de horas operando	Intensidade luminosa (lux)
1	9	4.368	155
2	9	2.208	319
3	6	4.248	59
4	12	4.368	236

5	4,9	4.152	89
6	5	4.152	48
7	9	3.552	160
8	7	4.152	113
9	9	4.368	189
10	9	3.168	233
11	17	4.248	286

Tomando como base as recomendações da norma ABNT NBR 8995-1, lâmpadas N° 2, 4, 10 e 11 poderiam ser utilizadas em uma extensa lista de aplicações que incluem salas de espera, corredores, refeitórios, vestiários, dentre outras. Mesmo a lâmpada de N° 3 e 5 que apresentaram intensidade luminosa abaixo de 100 lux, segundo a mesma norma, ainda seriam adequadas para aplicação, por exemplo, em instalações de processamento com operação remota ou instalações de produção sem intervenção manual. Em uma avaliação qualitativa própria, a luminosidade ambiente proporcionada pelas lâmpadas N° 3, 5 e 6, observada pela equipe da pesquisa, realmente é bastante baixa, e considerada insuficiente para iluminação de um cômodo residencial, por exemplo. Contudo, se utilizada em uma luminária de mesa, por exemplo, elas ainda poderiam ser úteis.

Por outro lado, a redução da intensidade luminosa de lâmpadas LED ao longo de sua vida útil é esperada e inclusive prevista pelos regulamentos técnicos do Inmetro para lâmpadas novas. Assim, é plausível esperar que lâmpadas reparadas também tenham redução da sua capacidade de iluminação com o passar do tempo, o que na prática tende a ocorrer com uma taxa maior do que em lâmpadas novas devido ao desgaste dos componentes como um todo que formam a lâmpada. Além das lâmpadas cujos resultados dos testes foram mostrados na Tabela 1, outras unidades foram colocadas para teste de durabilidade, mas acabaram deixando de funcionar antes de atingir um número expressivo de horas de operação. Houve lâmpada que durou apenas 48 h depois do reparo, assim como outras unidades, por exemplo, funcionaram 216 h, 360 h, 1728 h, e outros valores. Por se tratar de uma pesquisa preliminar, inicialmente os pesquisadores não estavam preocupados em registrar detalhadamente o processo de funcionamento e acompanhar com frequência a intensidade luminosa das lâmpadas, e por isso muitas unidades acabaram parando de funcionar antes de ser realizado algum

registro sobre a sua intensidade luminosa. Com o passar do tempo, a pesquisa mostrou-se promissora visto que algumas unidades de lâmpadas reparadas apresentaram durabilidade considerável.

Conclusões

A pesquisa realizada demonstra que há um potencial significativo para o reparo de lâmpadas LED do tipo bulbo descartadas pela população por meio de um procedimento simples, possibilitando sua reutilização com uma durabilidade considerável. Essa prática não apenas prolonga a vida útil das lâmpadas, mas também fortalece os princípios da economia circular, contribuindo para a redução da geração de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) e promovendo um futuro mais sustentável. Dando continuidade a essa linha de investigação, estudos futuros planejados pela equipe de pesquisa incluem a ampliação da amostragem de lâmpadas analisadas, com medições iniciais da intensidade luminosa logo após o reparo e um monitoramento periódico desse parâmetro. O objetivo é avaliar a manutenção da funcionalidade ao longo do tempo, permitindo uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a durabilidade das lâmpadas reparadas e viabilizando a implementação de diretrizes mais eficazes para seu reaproveitamento em larga escala.

Referências

BALDÉ, Cornelis P. *et al.* **Global E-waste Monitor 2024**. Geneva/Bonn: International Telecommunication Union (ITU) e United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), 2024.

ORTI, Vanessa; BALDÉ, Cornelis Peter; KUEHR, Ruediger; BEL, Garam. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential.** Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU), United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), International Telecommunication Union (ITU), International Solid Waste Association (ISWA), 2020.

ROSA, Josimar Souza; SANTOS, Emanuele Caroline Araujo dos; FERNANDES, William; BREHM, Feliciane Andrade; MORAES, Carlos Alberto Mendes. Avaliação do funcionamento e intensidade luminosa de lâmpadas recebidas para reciclagem em cooperativas de coleta seletiva da cidade de Porto Alegre. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS – SIREE, 6., 2023, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023.

WEHBIE, Moheddine; SEMETEY, Vincent. Characterization of end-of-life LED lamps: Evaluation of reuse, repair and recycling potential. **Waste Management**, v. 141, p. 202-207, 2022. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.01.037.

RAHMAN, S. M. Mizanur; KIM, Junbeum; LERONDEL, Gilles; BOUZIDI, Youcef; CLERGET, Laure. Value retention options in circular economy: Issues and challenges of LED lamp preprocessing. **Sustainability**, v. 11, p. 4723, 2019. DOI: 10.3390/su11174723

RAHMAN, S. M. Mizanur; POMPIDOU, Stéphane; ALIX, Thècle; LARATTE, Bertrand. A review of LED lamp recycling process from the 10 R strategy perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1178-1191, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.07.025

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes** – Parte 1: Luminárias – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2002.

Drive Thrus de resíduos de difícil reciclabilidade: Uma análise dos resultados e seus impactos na comunidade

Bárbara Panisson Lopes, Daniel Reolon, Geovana C.Secco Garcia, Verônica Mandelli Grasselli e Victoria Reolon de Mello
Caxias Lixo Zero (caxiaslixozero@gmail.com)

Resumo: A gestão de resíduos sólidos urbanos representa um dos maiores desafios enfrentados pelas cidades brasileiras, devido à falta de conscientização ambiental e à dificuldade de destinação correta de materiais específicos. O conceito Lixo Zero (LZ) consiste no máximo aproveitamento e correto encaminhamento dos resíduos recicláveis e orgânicos, e a redução (ou eliminação) do envio destes materiais para aterros sanitários ou incineração. Nesse contexto, este trabalho buscou avaliar os resultados de uma iniciativa de coleta de resíduos de difícil reciclabilidade, o *Drive Thru* do Caxias Lixo Zero, e seus impactos na população. A ação é promovida pelo Coletivo Caxias Lixo Zero (CLZ), que atua pela causa há cinco anos na cidade, promovendo eventos de mobilização social. Os resultados apontam o recolhimento de mais de 35 toneladas de resíduos entre 2021 e 2024, em 13 edições. A coleta de resíduos de difícil reciclabilidade visa desviar rejeitos dos aterros, diante dos desafios da reciclagem via coleta seletiva convencional. Sua composição complexa ou contaminante exige rotas tecnológicas específicas, viabilizadas por meio da entrega voluntária. Entre os exemplos mais comuns estão isopor, cápsulas de café, radiografias, óleo de cozinha, vidros e eletrônicos. A iniciativa contribui para a sensibilização ambiental e transformação de hábitos, alinhando-se à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12, que promove padrões sustentáveis de consumo e produção (metas 12.5 e 12.8).

Palavras-chave: Coleta de resíduos. Lixo Zero. Economia circular. Sensibilização ambiental

Drive Thrus *for difficult-to-recycle waste: An analysis of results and their impacts on the Community*

Abstract: The management of urban solid waste represents one of the greatest challenges faced by Brazilian cities, due to the lack of environmental awareness and the difficulty of properly disposing of specific materials. The Zero Waste (ZW) concept consists of maximum utilization and correct forwarding of recyclable and organic waste and the reduction (or elimination) the disposal of such materials in landfills or incineration. In this context, this work sought to evaluate the results of an initiative to collect difficult-to-recycle waste, the Drive Thru of Caxias Zero Waste, and its impacts on the population. The action

is promoted by the Caxias Zero Waste Collective (CLZ), which has been working for the cause for five years in the city, promoting social mobilization events. The results indicate the collection of more than 35 tons of waste between 2021 and 2024, in 13 editions. The collection of difficult-to-recycle waste aims to divert waste from landfills, given the challenges of recycling via conventional selective collection. Their complex or contaminating composition requires specific technological routes, made possible through voluntary delivery. Among the most common examples are styrofoam, coffee capsules, X-rays, cooking oil, glass, and electronics. The initiative contributes to environmental awareness and transformation of habits, aligning with the United Nations (UN) 2030 Agenda, especially Sustainable Development Goal (SDG) 12, which promotes sustainable patterns of consumption and production (targets 12.5 and 12.8).

Key words: Waste collection. Zero Waste. Circular economy. Environmental awareness.

Introdução

A gestão de resíduos sólidos representa um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela sociedade contemporânea. O crescimento populacional nos centros urbanos, aliado à expansão industrial, tem resultado em um aumento significativo na geração de resíduos sólidos frequentemente dispostos no ambiente sem o tratamento adequado ou sem considerar possibilidades de reciclagem (Santos *et al.* (2017). Nesse contexto, iniciativas de coleta de resíduos e a educação ambiental surgem como alternativas valiosas para complementar a coleta e minimizar as consequências negativas causadas pela destinação inadequada nos municípios.

No Brasil, os coletivos de voluntários vinculados ao Instituto Lixo Zero Brasil (ILZB) são movimentos importantes voltados à mobilização social, difundindo o conceito LZ através de ações de conscientização ambiental e engajamento. Em Caxias do Sul, o Coletivo Caxias Lixo Zero (CLZ) atua desde 2022 com diversas ações de educação ambiental e destinação de resíduos.

Esse trabalho objetivou avaliar os resultados de uma iniciativa de coleta de resíduos de difícil reciclabilidade, o Drive Thru do Caxias Lixo Zero e seus impactos na população, apresentando as tipologias e quantidades coletadas em três anos de ação.

Referencial Teórico

O crescimento populacional e a expansão industrial têm exacerbado a geração de resíduos sólidos, contribuindo significativamente para a

poluição ambiental (Santos *et al.*, 2017), afetando diretamente a biodiversidade e a saúde humana, sendo os maiores contribuintes os resíduos plásticos, que se acumulam em vários habitats naturais (Al-Mosawi *et al.*, 2017; Sokolova *et al.*, 2023). A produção mundial de plástico foi calculada em 400,3 milhões de toneladas (t) em 2022, e espera-se que aumente exponencialmente (Rafey, 2021).

A reciclagem por sua vez são os processos que envolvem a alteração das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas dos resíduos, transformando-os em insumos ou novos produtos apresenta-se como uma solução essencial para a gestão de resíduos (Santos *et al.*, 2017). Oliveira *et al.* (2022), por sua vez, destacam a importância de práticas de logística reversa e economia circular para melhorar os indicadores de reciclagem.

No Brasil, a taxa de reciclagem é significativamente baixa quando comparada a países desenvolvidos. Em 2023, cerca de 6,7 milhões de toneladas de material seco foram enviadas para a reciclagem, correspondendo a 8,3% dos resíduos sólidos urbanos gerados (ABREMA, 2024). Embora a coleta de resíduos tenha aumentado, ainda existe uma lacuna significativa entre a geração e a coleta desses materiais (Santos *et al.*, 2017). Programas de conscientização e parcerias público-privadas têm sido apontados como essenciais para aumentar a taxa de reciclagem no Brasil (Costa *et al.*, 2023).

Resíduos de difícil reciclabilidade, como plásticos mistos e produtos eletrônicos, no entanto, apresentam desafios devido à sua composição complexa e potencial de contaminação. Grande parte dos polímeros acabam sendo incinerados ou descartados em aterros sanitários, causando impactos ambientais (Balbueno *et al.*, 2021). Nesse contexto, o conceito LZ busca conservar todos os recursos por meio da produção, consumo, reutilização e recuperação responsáveis de produtos, embalagens e materiais, sem queima e sem descarte no solo, água ou ar que ameace o meio ambiente ou a saúde humana (ZWIA, 2018), tendo sido a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) um passo fundamental para a implementação do conceito LZ, promovendo a inclusão dos catadores de materiais recicláveis. Iniciativas de educação ambiental também têm sido fundamentais para disseminar os princípios do lixo zero.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU buscam promover o desenvolvimento sustentável. A

gestão de resíduos sólidos e a reciclagem estão diretamente ligados a vários desses objetivos, como o ODS 12, que visa garantir padrões de consumo e produção sustentáveis. Alcançar metas dos ODS depende de esforços coordenados entre governos, setor privado e sociedade civil para promover práticas sustentáveis de manejo de resíduos. Nesse cenário, a gestão de resíduos sólidos representa um dos maiores desafios ambientais, exigindo políticas públicas eficazes, tecnologias adequadas e a participação ativa da sociedade. Alcançar um patamar mais sustentável e consciente na gestão de resíduos sólidos é não só possível, mas necessário para garantir um futuro mais saudável (WWF, 2019).

Metodologia

O estudo baseia-se na sistematização de dados relacionados à entrega voluntária de resíduos nas campanhas de Drive Thrus promovidas pelo CLZ. Os dados foram coletados ao longo das edições realizadas entre 2021 e 2024 e organizados em planilhas, que contemplam datas do evento, tipologia de resíduos, quantidade coletada, onde a ação é realizada, o grupo de voluntários responsável pela realização e organização dos Drive Thrus.

Local de realização de estudo

A cidade de Caxias do Sul conta com uma população de mais de 463.338 habitantes (IBGE, 2022) com economia baseada na indústria, sendo considerado um dos principais polos metalmecânicos do país. A coleta seletiva foi implantada no município em 1991 e em 2007, foi a primeira cidade a inserir a coleta mecanizada no Brasil, para orgânicos e seletivos (CODECA, 2025).

Somente em 2022 o município gerou 358 t/dia, sendo 303 t (84%) destes resíduos orgânicos, ou rejeitos devido à sua destinação (aterro sanitário) e 55 t (16%) resíduos recicláveis. Estes últimos foram encaminhados para as 12 unidades de triagem da cidade, 1 cooperativa e 11 associações, as quais contam com 360 trabalhadores e 1.200 pessoas favorecidas indiretamente (PMGIRS, 2024). O índice de aproveitamento médio dos resíduos pelas unidades de triagem nos últimos sete anos foi de apenas 51% (PMGIRS, 2024), evidenciando baixos níveis de recuperação de materiais e reintegração à cadeia produtiva. A quantidade média mensal de rejeitos que chegam às unidades de triagem é estimada em 805,42 t (PMGIRS, 2024). Esses dados refletem a complexidade da

gestão de resíduos no município e a significativa quantidade de resíduos enviados a aterro que poderiam gerar renda e apoiar a transição para uma economia circular.

Coletivo Caxias Lixo Zero (CLZ)

O CLZ é um coletivo de voluntários vinculado ao ILZB, organização civil sem fins lucrativos, integrante da Zero Waste International Alliance (ZWIA). Fundado em 2010, tem como missão articular, mobilizar e provocar novas atitudes nas comunidades, incentivando a prática do Lixo Zero nos diversos segmentos da sociedade. Busca-se através deste conceito o máximo aproveitamento dos resíduos recicláveis e orgânicos, além de reduzir (ou eliminar) o envio de materiais aos aterros sanitários e à incineração, impulsionando a sustentabilidade da cadeia de resíduos para uma sociedade livre de descartes. Através da animação territorial, o ILZB atua de maneira transversal e nacional, por meio da atuação de seus representantes, embaixadores e coletivos de voluntários, que atuam em seus territórios e estão presentes em mais de 25 estados brasileiros (ILZB, 2025).

Em Caxias do Sul, o ILZB é representado pelo CLZ e conta com 3 embaixadoras e cerca de 20 voluntários, que há 5 anos desenvolvem ações socioambientais, promovendo a educação ambiental, o engajamento socioambiental, fomentando a destinação adequada dos resíduos e apoiando diretamente a cadeia local de reciclagem e de compostagem.

Desde sua fundação, em 2020, o CLZ já realizou mais de 100 ações e campanhas, que atingiram direta e indiretamente mais de 360 mil pessoas, com palestras, cursos, ações de limpeza, coleta de resíduos especiais, apresentações teatrais, feiras de economia local e circular, feiras de trocas, mostra de documentários, cine-debate, rodas de conversa e outras iniciativas educativas sempre gratuitas e abertas à comunidade.

***Drive thru* de resíduos**

O Drive Thru promovido pelo CLZ destaca-se pela proposta de facilitar a entrega voluntária de resíduos por parte da população, ao mesmo tempo que promove a conscientização ambiental e a destinação ambientalmente correta de resíduos de difícil reciclabilidade.

O primeiro Drive Thru no município ocorreu em agosto de 2021, inspirado em uma iniciativa do Coletivo Lixo Zero Rio Grande do Sul,

em alusão ao Dia Lixo Zero, evento do calendário pedagógico do ILZB. O formato, já conhecido em redes de fast food por ser rápido e exigir pouco contato físico, foi escolhido devido às restrições impostas pela pandemia de Covid-19, permitindo que os participantes entregassem os resíduos sem sair do carro. Realizado na área central da cidade, a iniciativa gerou grande interesse por parte da população e incluiu o recolhimento de resíduos eletrônicos, isopor, radiografias, óleo de cozinha, vidros e cápsulas de café. Diante do sucesso da iniciativa, optou-se pela continuidade da ação, que já soma 13 edições. A lista de resíduos foi sendo ampliada, atendendo às demandas crescentes da população e às necessidades da cadeia de reciclagem.

Desde 2023 os *Drive Thrus* são realizados bimestralmente, garantindo regularidade na mobilização da comunidade, em locais estratégicos e de fácil acesso, sendo majoritariamente em um estacionamento rotativo parceiro, mas também em universidades e praças centrais, visando ampliar a participação da comunidade.

A opção pela coleta de resíduos de difícil reciclabilidade objetiva desviar rejeitos dos aterros sanitários, alinhando-se aos princípios do conceito LZ, em função dos desafios para a reciclagem quando direcionados à coleta seletiva convencional. Por suas características contaminantes ou complexas, esses resíduos não são absorvidos pelas cadeias tradicionais, demandando rotas tecnológicas específicas, viabilizadas por meio da coleta via entrega voluntária e destinação a operadores especializados.

A organização da ação é realizada integralmente pelo coletivo de voluntários por meio de reuniões e de um Grupo de Trabalho (GT), encerrando-se a responsabilidade do Coletivo ao término da coleta, com a entrega dos resíduos para cada parceiro que dará a destinação adequada: unidades de triagem, empresas de reciclagem e gerenciamento de resíduos, programas de logística reversa e projetos sociais, além de iniciativas locais voltadas ao conserto e reaproveitamento de materiais. Na figura 1, são elencados os resíduos recebidos em todas as edições até o ano de 2024, com seus respectivos destinos e tipo de tratamento.

Quadro 1 – Resíduos coletados nos Drives Thrus em 2024

Resíduo	Destino	Tratamento
Eletrônicos (pequeno e médio porte)	Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Eletrodomésticos (pequeno porte)	Projeto Recirculando Eletrodomésticos	Projeto social - Conserto e Reutilização
Chapas de raio X	Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Óleo de cozinha usado	Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Isopor	Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Vidros inteiros (garrafas e potes de conserva)	Cooperativa Paz e Bem	Reutilização
BOPP (embalagens laminadas tipo salgadinho)	Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Cápsulas de café	Ecoponto em Gramado-RS / Cooperativa Paz e Bem	Reciclagem
Tampinhas plásticas	Engenharia Solidária	Projeto social - Reciclagem
Cartelas de medicamento vazias (blisters)	Cooperativa Paz e Bem	Projeto Social - Reciclagem pela Unicomper
Banners / Lonas	ASL	Reaproveitamento/ Upcycling (bolsas, estojos, pochetes…)
Sombrinhas / Guarda-chuvas	Clube de mães GeneRosas	Reaproveitamento/ Upcycling (ecobags)
Meias estragadas	Leo Clube	Programa Meias do Bem - Puket (transformação em cobertores)
Calçados estragados	Renova Service	Coprocessamento
Materiais de construção	Banco de materiais de Caxias do Sul	Doação e reutilização
Pneus	Companhia de Desenvolvimento de Caxias do sul (CODECA)	Programa de logística reversa -Reciclagem
Escovas e tubos pasta de dente	Curaprox (Projeto CURACyle)	Programa de logística reversa - Transformação em placas ecológicas
Esponjas de cozinha usadas	TerraCycle	Programa de logística reversa - Reciclagem
Material de escrita	TerraCycle	Programa de logística reversa - Reciclagem
Lâmpadas	Reciclus	Reciclagem

Fonte: Os autores (2025)

O transporte dos resíduos destinados às associações de triagem da cidade, assim como o empréstimo de caçambas, é viabilizado por meio de parcerias com a CODECA (Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul), responsável pela coleta municipal, com o apoio da SEMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) de Caxias do Sul. As empresas de reciclagem assumem por si mesmas o transporte, ou através de parceiros logísticos.

Resultados e Discussão

Entre 2021 e 2024, foram realizadas 13 ações de Drive Thru, sendo 3 em 2021, realizadas em meses consecutivos, em 2022, duas ações e nos anos de 2023 e 2024, foram realizadas quatro edições/ano. No total, foram arrecadadas no período, 37,44 toneladas de resíduos de difícil reciclabilidade (Tabela 1) sendo que somente em 14/08/2021, foram arrecadadas 6 t. Este resultado reflete um engajamento inicial importante da primeira ação. Em contraste, a menor quantidade registrada ocorreu em 11/09/2021, com menos de 1 t, o que pode ser atribuído à proximidade de datas em que as ações ocorreram, com menos de um mês de diferença entre elas. Além disso, os Drive Thru de 14/08/2021

e 11/09/2021 não ocorreram no mesmo local, o que pode ter influenciado na presença do público. Os cronogramas iniciais, que se mostram heterogêneos, se deram por parcerias com outros projetos e agendas públicas com datas já definidas. Após o entendimento da importância de uma periodicidade regular, foi determinado um cronograma fixo bimestral, o que garantiu maior estruturação e organização do evento.

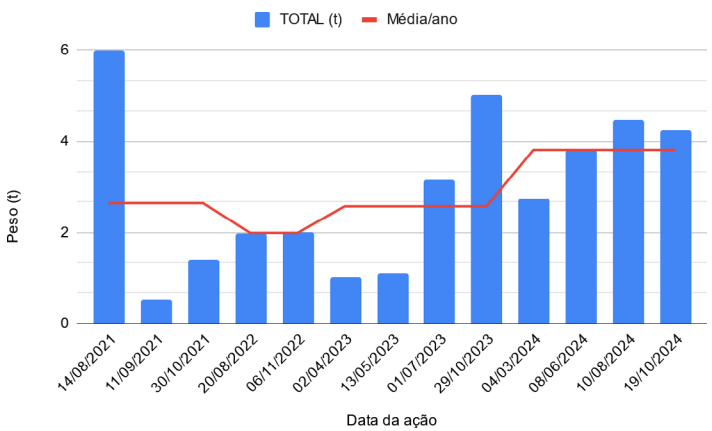
Tabela 1 – Quantidade de resíduos recolhidos por ação

Data da ação	**Quantidade (t)**	**Data da ação**	**Quantidade (t)**
14/08/2021	6,00	01/07/2023	3,15
11/09/2021	0,53	29/10/2023	5,00
30/10/2021	1,39	04/03/2024	2,73
20/08/2022	1,98	08/06/2024	3,80
06/11/2022	2,00	10/08/2024	4,48
02/04/2023	1,02	19/10/2024	4,25
13/05/2023	1,10	**Total**	**37,44**

Fonte: os autores (2025)

Na figura 1, observa-se a quantidade recolhida por ação. Após o pico inicial de 2021, os volumes arrecadados mostram uma estabilização em torno de 2 a 4 toneladas nas edições seguintes. Esses dados demonstram uma consistência na participação da população, não havendo nenhuma outra edição onde foi arrecadado menos de 1 tonelada.

Figura 1 – Quantidade de resíduos recolhidos por ação



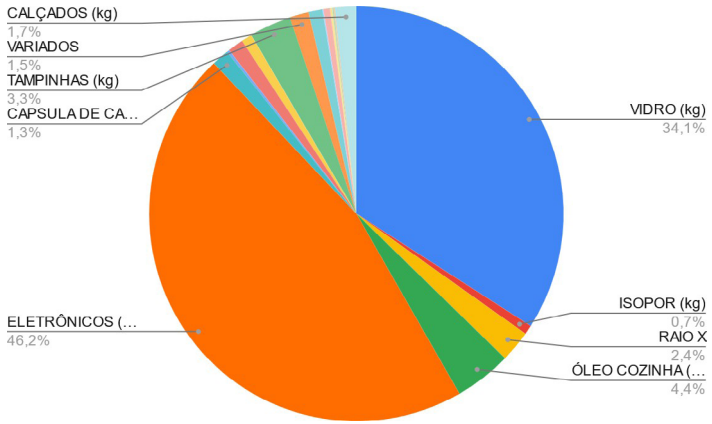
Fonte: os autores (2025)

A partir do segundo semestre de 2023, nota-se um aumento significativo da quantidade recolhida, que passa de 1,10 t para 3,15 t, quase triplicando o número anterior. O pico de coleta foi em 29/10/2023 com 5 recebidas. Esse aumento expressivo pode ser atribuído à inclusão da ação na programação da Semana Lixo Zero (SLZ), um evento de destaque no calendário anual do CLZ, amplamente divulgado na comunidade. Intitulada "Mega Drive", essa edição contou com uma maior diversidade de tipos de resíduos recebidos, tais como: lâmpadas fluorescentes e incandescentes, pneus e materiais de construção.

O ano de 2024 destacou-se por registrar participação significativa da população. Em uma de suas edições foram estimados 475 veículos em apenas 5 horas de evento e foi registrada a maior arrecadação de resíduos, atingindo um total de 15,26 t, com a média de 3,81 recolhidas por ação. Esse resultado supera significativamente os números registrados em anos anteriores, como 10,27 t em 2023, 3,98 t em 2022 e 7,92 t em 2021. A média crescente de resíduos recolhidos ao longo dos anos fica clara na linha da média apresentada na figura 2, evidenciando um aumento da participação da população e a consolidação das ações de coleta promovidas pelo projeto.

Contabilizando todos os eventos realizados até 2024 (37,44 t), o tipo de resíduo com maior representação são os eletroeletrônicos, que representam 46,2% da massa total recolhida, seguido do vidro (34,1%). Destacam-se estes dois materiais por terem massa significativa quando comparados aos demais resíduos, incluídos desde a primeira ação. Outros foram incluídos posteriormente. A categoria "variados" (Figura 2) inclui os resíduos não contemplados na lista definida para cada evento, supondo-se que a população tenha dúvidas com relação a algumas categorias, e/ou por assumirem que por ser um grande evento de descarte, seria possível levar qualquer tipo de resíduo. Estes foram contabilizados com o intuito de apresentar para a população a quantidade de resíduos recebidos fora da lista estabelecida, o que dificulta o trabalho realizado.

Figura 2 – Percentual de cada resíduo recebido



Fonte: os autores (2025)

Através dos resultados expostos, pode-se constatar que o projeto teve aderência da população caxiense, com participação constante em todas as edições, em especial no ano de 2024, onde a arrecadação de resíduos foi bastante expressiva.

Considerações finais

O conceito LZ oferece uma resposta transformadora aos desafios globais relacionados à gestão de resíduos, incentivando mudanças profundas nas relações de produção e consumo, alinhadas aos princípios da economia circular e da promoção da sustentabilidade. O CLZ nasceu como um movimento que acredita na educação ambiental como ferramenta de engajamento e sensibilização e exemplifica como a sociedade civil organizada pode mobilizar territórios e promover engajamento em torno de soluções concretas para questões ambientais. A iniciativa do Drive Thru do CLZ vai além da destinação correta de resíduos problemáticos, atuando como uma poderosa ferramenta de educação ambiental e mobilização social. A ação tem gerado impactos significativos na conscientização da comunidade, fomentando mudanças de comportamento visíveis e fortalecendo a construção de uma cultura voltada para a sustentabilidade. Em apenas quatro anos, a ação destinou corretamente mais de 37 toneladas de resíduos, aliviando a pressão sobre aterros sanitários, fortalecendo a cadeia local de reciclagem e transformando resíduos em recursos. Esses números revelam o potencial do conceito Lixo Zero quando aplicado de forma prática e colaborativa.

Apesar de ser uma ação conduzida de maneira voluntária e sem investimentos financeiros, o Drive Thru apresenta um potencial ainda maior caso sejam estabelecidas parcerias estratégicas com o poder público, iniciativa privada e instituições acadêmicas. Essas colaborações poderiam ampliar sua periodicidade, diversificar os tipos de resíduos recebidos e atingir uma parcela ainda maior da população. Além disso, parcerias com veículos de comunicação poderiam potencializar a disseminação de informações e engajar ainda mais pessoas à causa.

Os impactos socioambientais do Drive Thru são diversos e significativos, fortalecendo a economia circular local através da valorização das cooperativas e associações de reciclagem, promovendo a educação e conscientização ambiental da população, e contribuindo significativamente para a redução dos volumes de resíduos enviados ao aterro municipal. O sucesso do Drive Thru do CLZ demonstra como ações comunitárias podem não apenas resolver problemas ambientais imediatos, mas também inspirar uma transição para práticas mais conscientes e sustentáveis. Trata-se de uma iniciativa que não apenas destina resíduos, mas também constrói caminhos para um futuro mais sustentável.

Referências

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2024**. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em: 25 jan. 2025.

AL-MOSAWI, Ali I.; ABDULSADA, Shaymaa Abbas; RIJAB, Mustafa A. Efeito de síntese de nanopartículas de mistura natural/química na resistência ao impacto de material compósito sustentável. Journal of Catalyst and Catalysis , v. 4, p. 1-5, 2017.

BALBUENO, Laís Ribeiro *et al.* Tratamento de resíduos sólidos no município de Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil, correlacionado com dados externos. Interações (Campo Grande), v. 22, p. 883-905, 2021.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE CAXIAS DO SUL. Site Oficial. Disponível em: http://www.codeca.com.br/. Acesso em: 25 jan. 2025.

COSTA, João Pinto *et al.* The role of legislation, regulatory initiatives and guidelines on the control of plastic pollution. Frontiers in Environmental Science, v. 8, p. 104, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares da Amostra.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br.

INSTITUTO LIXO ZERO BRASIL **Lista de Embaixadores Lixo Zero – ILZB**. Disponível em: https://tr.ee/k4byq6jg5h. Acesso em: 25 jan. 2025.

OLIVEIRA, CM; . O papel do farmacêutico na logística reversa de medicamentos no Brasil: uma revisão integrativa. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento , [S. l.] , v. 1, pág. e30611124854, 2022.

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS (1ª REVISÃO) PMGIRS, 2024 CAXIAS DO SUL /RS, 2024. Acesso em: 15 jan. 2025.

RAFEY, Abdul; SIDDIQUI, Faisal Zia. **A review of plastic waste management in India–challenges and opportunities**. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, v. 103, n. 16, p. 3971-3987, 2023.

SANTOS, Marco Aurélio dos *et al.* **Poluição do meio ambiente.** Rio de Janeiro: Ltc, 2017.

SOKOLOVA, Tatiana; KRISHNA, Aradhna; DÖRING, Tim. Paper meets plastic: **The perceived environmental friendliness of product packaging.** Journal of Consumer Research, v. 50, n. 3, p. 468-491, 2023.

WWF. **Living Planet Report –** 2019: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.

ZWIA, Zero Waste Definition Adopted by Zero Waste Planning Group. 2018.

Avaliação físico-química do processo combinado eletrocoagulação/biocarvão no tratamento de efluente têxtil sintético

Luciano André Deitos Koslowski[1], Silvana Licodiedoff[2], Aline Scheller Coan[3], Alexandre Tadeu Paulino[4]

[1]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil (CEAVI), Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada (CCT)/UDESC (luciano.koslowski@udesc.br)

[2]Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária /UDESC/CEAVI (Silvana.licoo@gmail.com)

[3]Universidade da Região de Joinville/Univille, Laboratório de Meio Ambiente (alinescheller@univille.br)

[4] Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada/ UDESC/CCT (alexandre.paulino@udesc.br)

Resumo: O ramo da indústria têxtil representa grande importância para a economia brasileira, sendo um dos setores de maior tradição dentro do segmento industrial. O presente estudo teve por objetivo avaliar o tratamento de um efluente têxtil sintético empregando pigmentos azocorantes em um reator batelada, aplicando o processo de eletrocoagulação. Estratégias operacionais foram determinadas para o processo de eletrocoagulação a fim de investigar os efeitos da intensidade de corrente (0,50 A e 1,0 A) e tempo de eletrólise (30 min e 60 min). Os ensaios foram realizados empregando uma distância de inter-eletrodo de 6 cm, concentração de eletrólito (NaCl, 2 g L^{-1}) e concentração em massa de pigmento de 0.10 g L^{-1}. Os resultados apresentados demonstram uma redução de cor na ordem de 91,30% e remoção de DQO de 82,60%. Os resultados vislumbram potencial aplicação para o tratamento do efluente têxtil e potencial aplicação em uma escala piloto. Contudo, a implementação do processo deve ser realizada com um estudo mais detalhado do efluente sintético têxtil e do tratamento final em escala laboratorial.

Palavras-chave: eletrocoagulação, remoção de cor, efluente têxtil.

Physicochemical evaluation of thecombined Electrocoagulation/Biochar process in the treatment of synthetic textile efluente

Abstract: The textile industry plays a vital role in the Brazilian economy and stands as one of the most traditional sectors in the manufacturing segment. This study aimed to evaluate the treatment of synthetic textile wastewater containing azo dyes in a batch reactor using of the combined electrocoagulation/ biochar process. Operational strategies were determined for the electrocoag-

ulation process in order to investigate the effects of current intensity (0.50 A and 1.0 A) and electrolysis time (30 min e 60 min). The experiments were conducted using an inter-electrode distance of 6 cm, electrolyte concentration (NaCl, 2 g L-1), and pigment mass concentration of 0.10 g L-1. The results showed 91,30% color reduction and 82,60% COD. The findings suggest potential applications for textile effluent treatment and scalability to pilot-scale operations. However, further research on synthetic textile wastewater and final laboratory-scale treatment is necessary for process implementation.

Key words: electrocoagulation, color removal, textile effluent.

Introdução

A abrangente aplicação de corantes reativos pelas indústrias têxteis, gera um volume de contaminantes considerável em relação aos efluentes gerados durante os processos de tingimento. A produção extensiva e o uso generalizado de corantes sintéticos, no entanto, levantaram preocupações sobre o seu profundo impacto ambiental (Saini, R., Choudhary, K., 2025). Neste aspecto, parte significativa dos corantes sintéticos são utilizados no tingimento de peças têxteis, dos quais destacam-se os do tipo azo, cuja estrutura química apresenta um ou mais grupos azo (– N=N–), ligados a anéis benzênicos ou naftalenos. Da mesma forma, a presença de outros elementos e funções químicas, como cloro (–Cl), metil (–CH_3), nitro (–NO_2), amina (–NH_2), hidroxila (–OH), carboxila (–COOH) e sulfonato (–SO_3H, podem ser encontrados como componentes essenciais em uma infinidade de aplicações (Reddy, C. N., Surabhi, D., Charan, M. C. K., Balla, R. P., Katla, H., Pathipaka, K. P., Sundaramurthy, S., 2024). Algumas técnicas eletroquímicas, como a eletrocoagulação (EC), eletro-decantação e eletro-flotação, oferecem um método interessante para o tratamento de efluentes têxteis, visto que não requerem a adição de produtos químicos ou microrganismos além de gerar baixa quantidade de lodo, comparativamente aos processos de coagulação química ou lodo ativado (Lach, C. E., Pauli, C. S., Coan, A. S., Simionatto, E. L., Koslowski, L. A. D., 2022). Nesse sentido, a EC vislumbra potencial aplicação como uma técnica de tratamento de água/efluentes devido à sua versatilidade e compatibilidade ambiental (Ahreen, A., Jami, M. S., Ali, F., 2020), com uma abordagem sustentável que visa reduzir resíduos, minimizar o uso de produtos tóxicos e promover processos mais eficientes no contexto da Química Verde. No processo de EC ocorre a formação do coagulante in situ no reator eletroquímico, que possui eletrodos de sacrifício. Na aplicação de um potencial elétrico, os cátions metálicos são formados nos eletrodos por

eletrólise, portanto, ocorre a formação de espécies hidrolisadas e de microbolhas de hidrogênio, que são formadas no cátodo do circuito metálico do reator, promovendo a separação das partículas do meio via flotação (Elgarahy, A. M., Eloffy, M. G., Priya, A. K., Yogeshwaran, V., Yang, Z., Elwakeel, K. Z., Lopez-Maldonado, 2024).

O biocarvão (biochar, BC) é um material poroso enriquecido em carbono produzido por meio da conversão térmica de biomassa orgânica (resíduos) na ausência ou sob condições limitadas de oxigênio por meio da pirólise (faixas de temperatura de 400 a 800 °C). O biocarvão propicia diversos benefícios ambientais e agrícolas, quando utilizado no solo, entre eles: conversão de resíduos agrícolas em biochar garante menor emissão de CO_2, captura de carbono, retenção de micronutrientes e maior disponibilidade para as plantas, retenção de água, aumento da capacidade de troca catiônica (CEC) (Al-Wabel, M. I., Hussain, Q., Usman, A. R., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A. S., Ok, Y. S. 2018). A utilização do biocarvão como material adsorvente vem sendo amplamente estudada em função do seu poder de adsorção, visto que a remoção de poluentes pelo biocarvão em efluentes contaminados, transfere substâncias tóxicas da fração líquida para a fração sólida (Zango, Z. U., Garba, A., Haruna, A., Imam, S. S., Katsina, A. U., Ali, A. F., Adamu, H., 2024). O emprego de BC como sendo um material ecologicamente correto para a remoção de corantes de águas residuais tem sido bastante estudo nos últimos anos (Fan, S., Tang, J., Wang, Y., Li, H., Zhang, H., Tang, J., Li, X., 2016).

O presente trabalho apresenta como objetivo avaliar a eficiência no tratamento de um efluente têxtil sintético empregando o processo combinado EC/BC, de forma a avaliar a remoção de cor e a redução da demanda química de oxigênio (DQO) empregando uma tecnologia *eco-friendly*.

Materiais e Método

O processo combinado EC/BC foi realizado empregando a configuração experimental apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Configuração experimental do processo EC.



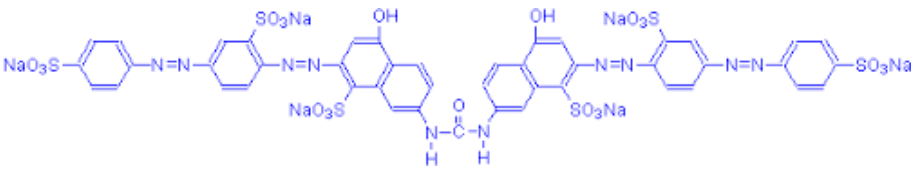
Fonte: do autor (2025)

O aparato experimental para o sistema combinado EC/BC do efluente sintético têxtil, foi realizado empregando uma fonte de corrente contínua de energia (LABO 2845 115 VCA, Brasil), com uma faixa de corrente de 0 a 5 A, e tensão ajustável de 0 a 20 V, com o auxílio de um sistema de agitação magnética (A célula eletroquímica foi submetida a um agitador magnético (MicroQuímica MQAMA 301) a uma velocidade de agitação constante de 300 rpm para proporcionar homogeneidade da solução.), em um reator eletroquímico de borossilicato com capacidade de 2 L.. No interior do reator foi instalado um sistema monopolar de eletrodos de alumínio como ânodo e cátodo, com as seguintes dimensões: 100 mm de comprimento, 40 mm de largura e 1 mm de espessura. Os eletrodos foram submersos a uma profundidade de 78 mm, fornecendo uma área superficial de contato de aproximadamente 31,2 mm^2. O biocarvão empregado no experimento, provém de uma Unidade de Cogeração de Energia do Estado de Santa Catarina, que produz energia elétrica. A indústria de cogeração a partir da biomassa, utiliza resíduos de madeira como combustível, com capacidade de geração de 28 MW. O biocarvão utilizado no presente trabalho é proveniente de uma usina geradora de energia elétrica, com capacidade de 10 GW, a partir da combustão de uma fonte renovável de biomassa

florestal a uma temperatura entre 900 °C a 1.000 °C, e com baixas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). O processo de secagem do biocarvão foi realizado em estufa laboratorial a uma temperatura de 90 ºC em um período de 24 h.

As estratégias foram definidas, empregando os seguintes valores operacionais: conforme apresentado na Tabela 1: intensidade de corrente elétrica (ICE) de 0,50 A e 1 A, tempo de eletrólise (30 min e 60 min). No processo, foi empregado uma distância intereletrodos (DIE) de 6 cm, concentração do eletrólito (Cloreto de Sódio, NaCl) de 2 g L^{-1}, concentração de 0.10 g L^{-1} do azo corante (Sirius Red F3B, DyStar, $C_{45}H_2N_{10}Na_6O_{21}S_6$, CAS: 2610-10-8), cuja estrutura química é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura molecular do azo corante Sirius Red F3B, DyStar



Fonte: adaptado de Weng, C. H., Ding, F., Lin, Y. T., & Liu, N. (2015).

As estratégias do estudo foram delineadas a partir de ensaios testes realizados em triplicata, avaliando valores dissemelhantes de corrente elétrica, distância dos eletrodos e tempo de eletrólise do processo de EC, observando assim a melhor condição de tratamento do efluente sintético têxtil.

Tabela 1 – Parâmetros operacionais do processo de EC (n = 2) em triplicata

Estratégia	**Intensidade da corrente (A)**	**Tempo de eletrólise (min)**
E1	0,50	30
E2	1	30
E3	0,50	60
E4	1	60
E5	0,50	30
E6	1	30
E7	0,50	60
E8	1	60

E9	0,50	30
E10	1	30
E11	0,50	60
E12	1	60

Fonte: do autor (2025).

Os procedimentos de coleta, armazenamento e conservação das amostras seguiram a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros físico-químicos foram testados de acordo com o procedimento recomendado pela American Public Health Association (APHA, 2012). Os ensaios físico-químicos foram realizados por meio da determinação de pH via método eletrométrico (Hanna HI 3221, SMEWW-4500H+.B) e cor verdadeira (Smart 2 Colorimeter La Motte, SMEWW-2120D) com comprimento de onda entre 450 e 465 nm e Demanda Química de Oxigênio – DQO, determinado pelo método fotométrico (Merck Millipore HC 981386, SMEWW-5220D).

Resultados e Discussão

Ensaios físico-químicos: Cor Verdadeira e pH

De acordo com a resolução Conama 357/430, o valor máximo permitido para cor verdadeira em

efluentes industriais é de 75 mg.Pt.Co L^{-1}. Os resultados dos ensaios de cor verdadeira para o efluente sintético (ES) apontam valores de 150 mg Pt-Co L^{-1} ±12,00. Os valores resultantes da determinação da cor verdadeira revelaram que o processo combinado EC/BC utilizado nesta pesquisa apresentou elevada remoção de cor, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados obtidos da remoção de cor empregando o processo EC/BC combinado.

	Cor Verdadeira		
Estratégia	Processo EC (mg Pt L-1)	EC/BC combinado (mg Pt L-1)	(a)(%) Remoção de cor EC/BC combinado
E1	48	24	79,13%
E2	56	22	80,86%
E3	28	12	89,56%

E4	36	15	86,95%
E5	51	19	83,47%
E6	60	23	80,00%
E7	31	10	91,30%
E8	34	14	87,82%
E9	47	25	78,26%
E10	61	29	74,78%
E11	28	12	89,56%
E12	39	20	82,60%
ES	85	-	-

[a]Remoção em % de cor verdadeira do processo EC/BC em relação ao ES.
Fonte: do autor (2025).

Os dados apontam uma remoção de cor para o processo EC/BC na ordem de 79,13% a 91,30%. Portanto, todos os valores obtidos nos ensaios realizados atendem ao estipulado na Resolução Conama 430/2011, com destaque para as estratégias E3, E7, e E11 que apresentaram as maiores taxas de remoção aplicando ICE de 0,50 A e tempo de eletrólise de 60 min. Os dados experimentais indicam que no processo de EC ocorre desgaste acelerado do eletrodo metálico e aumento da energia elétrica consumida. Portanto, a ICE aplicada promove a formação intensiva de íons Al^{3+} no efluente, aumentando a força de atração entre as cargas e, resultando no aumento da turbidez e na concentração de alumínio no efluente tratado (Tahraoui, H., Toumi, S., Boudoukhani, M., Touzout, N., Sid, A. N. E. H., Amrane, A., Zhang, J., 2024). A literatura reporta que o aumento do tempo de eletrólise aumenta a eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO com consumo de energia de águas residuais (Ebba, M., Asaithambi, P., Alemayehu, E., 2021). Portanto o tempo de eletrólise mais extenso, resulta em uma elevação na eficiência de remoção devido à geração de radicais hidroxila e mais espécies poliméricas de metal foram são formadas. Em relação à adição do eletrólito cloreto de sódio (NaCl) ao ES, observou-se redução da cor em todos os ensaios realizados. Em relação ao BC, mecanismos de adsorção e redução da superfície do BC podem ser efetivamente usados para tratar águas residuárias, visto que a superfície do BC se encontra carregada negativamente, o que justifica o maior acúmulo de cátions. Os dados da Tabela 2 indicam que o processo combinado EC/BC apresenta uma capacidade maior de redução de cor comparativamente ao processo EC

isoladamente, pois a área superficial do BC apresenta elevada capacidade de adsorção de contaminantes orgânicos no biocarvão pelo aumento de oxigênio contendo grupos funcionais, particularmente devido as interações π-π de doador /aceptor de elétrons (Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., Yang, Z., 2015).

Os valores resultantes da determinação do pH do processo combinado EC/BC utilizado nesta pesquisa são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados obtidos em relação ao pH do processo EC/BC combinado.

Estratégia	Processo EC (mg Pt L-1)	EC/BC combinado (mg Pt L-1)
E1	7,20	6,30
E2	7,70	6,60
E3	7,60	6,80
E4	8,25	7,15
E5	7,45	6,50
E6	7,90	7,00
E7	7,40	6,60
E8	8,10	6,95
E9	7,20	6,50
E10	7,90	7,10
E11	7,80	6,90
E12	7,90	6,80
ES	6,0	6,30(a)

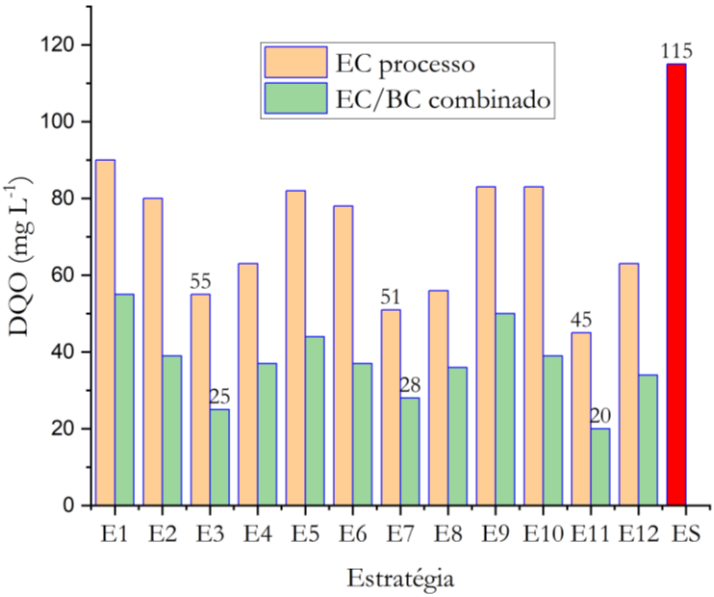
(a) BC em solução aquosa de 10 g L^{-1}
Fonte: do autor (2025).

No presente estudo, todos os ensaios apresentam-se em conformidade com a resolução Conama 357/2005 estipulados entre 6,0 e 9,0. Para efeito comparativo, o pH inicial do efluente sintético têxtil (ES) apontou valor inicial de 6,0 e o biocarvão (BC) solubilizado em meio aquoso a concentração de 10 g L^{-1} apresentou valor de 6,30, em ambos os casos realizados em triplicata e sem variação no desvio padrão. Após a etapa de tratamento via EC, os valores de pH final obtidos encontram-se na faixa esperada (7,20 a 8,25). No sistema combinado EC/BC os valores obtidos encontram-se na faixa de 6,30 a 7,10).

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Neste estudo, os resultados da média aritmética da redução de DQO devido ao tratamento da EC e sistema combinado EC/BC no efluente sintético encontra-se sumarizado na Figura 3.

Figura 3 – Dados obtidos da remoção de DQO empregando o processo EC/BC combinado.



Fonte: do autor (2025)

Com base nos dados apresentados na Figura 3, o ES apresentou valor de DQO de 115 mg L^{-1} ±3,5. Os resultados da DQO aplicando o processo de EC individual promoveu uma redução na faixa de 21,73 a 60,6% da DQO do efluente sintético têxtil. Por sua vez, no sistema combinado EC/BC foi observado variação na faixa de 52,17 a 82,60%. Os valores de remoção da DQO alcançadas neste estudo encontram-se de acordo com o reportado em outros trabalhos (Núñez, J., Yeber, M., Cisternas, N., Thibaut, R., Medina, P., Carrasco, C., 2019) que obtiveram 59,0% na remoção da DQO de efluentes provenientes da etapa de tingimento dos têxteis e (Martins, J. E. C. A., Abdala, E. F., Lima, A. C. A. D., Ribeiro, J. P., Maia, F. E. F., Nascimento, R. F. D., 2017) que reportaram no processo de EC uma eficiência de 81,2% na remoção da DQO para efluente têxtil, com tempo de eletrólise de 50 minutos. Na análise de dados proposta para o sistema EC/BC combinado, foi obser-

vado que as estratégias E3/E7/E11 empregando ICE de 0,50 A e tempo de eletrólise de 60 min apresentou remoção de DQO entre 75,65% e 82,60% indicando uma eficiência de remoção da DQO bastante superior em relação ao processo EC convencional. O aumento do tempo de eletrólise (60 min) aumenta a eficiência de remoção de cor, turbidez, e DQO em função da elevação na eficiência de remoção devido à geração de radicais hidroxila e mais espécies poliméricas de metal foram formadas. No caso da aplicação do BC, mecanismos de quimiossorção e fisiossorção podem influenciar no processo de adsorção dos poluentes, haja visto que em todas as estratégias aplicadas, foi observado redução da DQO empregando BC comparativamente ao processo de tratamento via EC convencional.

Conclusão

O objetivo principal do estudo foi implementar e avaliar a eficiência do processo EC/BC combinado em relação ao tratamento de um efluente sintético têxtil azo corante quanto a remoção de cor e Demanda química de oxigênio. As melhores condições operacionais para o sistema combinado EC/BC foram obtidas com ICE de 0,50 A e tempo de eletrólise de 60 minutos. O biocarvão, desempenhou elevada capacidade de sorção dos contaminantes presentes na degradação do efluente sintético, demonstrando que a área superficial do biocarvão aumenta a eficiência na remoção de poluentes comparativamente ao processo de eletrocoagulação convencional. Os ensaios empregando ICE de 0,50 A e tempo de eletrólise de 60 min apresentaram os melhores resultados em relação a remoção de cor (91,30%) e demanda química de oxigênio (82,60%). Portanto, compreende-se que o uso do sistema combinado eletrocoagulação/biocarvão emerge como uma alternativa promissora como material adsorvente de baixo custo econômico para a remoção de poluentes azo corantes, em consonância com os princípios da Química Verde.

Referências

AL-WABEL, Mohammad I. *et al.* Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. Land Degradation & Development, v. 29, n. 7, p. 2124-2161, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. 22p. Rio de Janeiro, 1987.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA: **Standard methods for the examination of water and wastewater**. APHA: 22ª. ed. Washington, 2012.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

EBBA, Million; ASAITHAMBI, Perumal; ALEMAYEHU, Esayas. Investigation on operating parameters and cost using an electrocoagulation process for wastewater treatment. Applied Water Science, v. 11, n. 11, p. 175, 2021.

ELGARAHY, Ahmed M. *et al.* A review on the synergistic efficacy of sonication-assisted water treatment process with special attention given to microplastics. **Chemical Engineering Research and Design,** 2024.

FAN, Shisuo *et al.* Biochar prepared from co-pyrolysis of municipal sewage sludge and tea waste for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions: Kinetics, isotherm, thermodynamic and mechanism. Journal of Molecular Liquids, v. 220, p. 432-441, 2016.

LACH, Carlos Eduardo *et al.* Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on Daphnia magna test organisms. Journal of Water Process Engineering, v. 45, p. 102485, 2022.

NÚÑEZ, J. *et al.* Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. Journal of Hazardous Materials, v. 371, p. 705–711, 2019.

REDDY, C. Nagendranatha *et al.* Aerobic and Anaerobic Digestion of Textile Industry Wastewater. In: Aerobic and Anaerobic Microbial Treatment of Industrial Wastewater. CRC Press, 2024. p. 93-136.

SAINI, Richa; CHOUDHARY, Kumud. Toxic potential of azo dyes: A broader understanding. In: Hazardous Chemicals. Academic Press, 2025. p. 469-481.

TAHREEN, Amina; JAMI, Mohammed Saedi; ALI, Fathilah. Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. Journal of Water Process Engineering, v. 37, p. 101440, 2020.

TAHRAOUI, Hichem *et al.* Evaluating the Effectiveness of Coagulation–Flocculation Treatment Using Aluminum Sulfate on a Polluted Surface Water Source: A Year-Long Study. Water, v. 16, n. 3, p. 400, 2024.

TAN, Xiaofei *et al.* Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. Chemosphere, v. 125, p. 70-85, 2015.

WENG, Chih-Huang *et al.* Effective decolorization of polyazo direct dye Sirius Red F3B using persulfate activated with Fe0 aggregate. Separation and Purification Technology, v. 147, p. 147-155, 2015.

ZANGO, Zakariyya Uba *et al.* A systematic review on applications of biochar and activated carbon derived from biomass as adsorbents for sustainable remediation of antibiotics from pharmaceutical wastewater. Journal of Water Process Engineering, v. 67, p. 106186, 2024.

Desafios regulatórios energéticos, sustentabilidade e economia circular

Iradi Rodrigues da Silva[1]; Denise Papke Guske [2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul/UCS, e-mail irsilva6@ucs.br*
[2] *Universidade de Caxias do Sul/UCS, e-mail dpguske@ucs.br*

Resumo: Este artigo aborda os desafios regulatórios e a sustentabilidade no setor energético, com enfoque na expansão da energia renovável e na importância da economia circular. A crescente demanda por energia, aliada à necessidade de mitigação dos impactos ambientais e climáticos, torna essencial a construção de um arcabouço jurídico que equilibre segurança energética, eficiência econômica e responsabilidade ambiental. A pesquisa apresenta um panorama dos principais marcos regulatórios do setor energético, desde a criação do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), em 1939, até as legislações mais recentes voltadas à transição energética e à descarbonização da matriz energética nacional. Além disso, discute-se a economia circular como alternativa ao modelo linear de produção e consumo, promovendo a reutilização e reciclagem de materiais, especialmente no setor energético. A implementação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, como o RenovaBio e a Política Nacional de Transição Energética, evidencia a crescente preocupação com a redução das emissões de gases de efeito estufa e com a incorporação de fontes renováveis ao sistema energético. A metodologia utilizada foi a análise bibliográfica, realizada por meio da leitura e coleta de materiais em livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e pesquisas on-line. O estudo apontou que, para a consolidação de um setor energético sustentável, é necessária a adoção de práticas ambientais responsáveis, relacionadas à manutenção e atualização das regulamentações, bem como vinculadas às diretrizes de economia circular no setor.

Palavras-chave: Economia circular. Regulação energética. Sustentabilidade.

Energy regulatory challenges, sustainability and circular economy

Abstract: This article addresses regulatory challenges and sustainability in the energy sector, with a focus on the expansion of renewable energy and the importance of the circular economy. The growing demand for energy, combined with the need to mitigate environmental and climate impacts, makes it essential to build a legal framework that balances energy security, economic efficiency, and environmental responsibility. The research presents an overview of the main regulatory milestones in the energy sector, from the creation of the National Council of Water and Electric Energy (CNAEE) in 1939 to the most recent legislation aimed at energy transition and the decarbonization of the national energy matrix. Additionally, the circular economy is discussed as

an alternative to the linear model of production and consumption, promoting the reuse and recycling of materials, especially in the energy sector. The implementation of public policies focused on sustainability, such as RenovaBio and the National Energy Transition Policy, highlights the growing concern with reducing greenhouse gas emissions and incorporating renewable sources into the energy system. The methodology used was bibliographic analysis, carried out through the reading and collection of materials from books, scientific articles, academic papers, and online research. The study found that, for the consolidation of a sustainable energy sector, it is necessary to adopt environmentally responsible practices, related to the maintenance and updating of regulations, as well as aligned with circular economy guidelines within the sector.

Keywords: Circular Economy; Energy Regulation; Sustainability.

Introdução

É amplamente reconhecido que o setor energético desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico, sendo essencial para a manutenção das atividades produtivas e a qualidade de vida.

A energia, juntamente com o setor energético, constitui um dos principais alicerces da sociedade moderna. Ela é necessária tanto para a produção de bens a partir dos recursos naturais, quanto para fornecer serviços. Entender a energia, portanto, envolve a compreensão dos recursos energéticos, suas limitações e as consequências ambientais associadas à sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão interligados (Hinrichs; Kleinbach, 2014).

No entanto, a crescente demanda por energia, aliada à necessidade de reduzir os impactos ambientais da geração e do consumo energético, representam desafios ao sistema regulatório. Nesse contexto, as regulamentações energéticas surgem como um campo essencial para garantir a segurança jurídica, promover a inovação sustentável e equilibrar os interesses dos diversos setores. A economia circular, portanto, se apresenta não apenas como um modelo econômico, mas como um mecanismo indispensável para a promoção do direito ao meio ambiente equilibrado. Ela possibilita a conciliação entre o crescimento econômico e a preservação ambiental, fundamentando-se no princípio de que a sustentabilidade não é uma opção, mas uma necessidade para a sobrevivência do planeta e para a manutenção dos direitos fundamentais de todos os cidadãos (Oliveira; Silva; Ferrer, 2021).

O texto foi estruturado em três partes: a primeira apresenta um panorama geral e os desafios regulatórios no setor energético; a segun-

do é sobre a expansão das energias renováveis no Brasil, com foco na energia solar; e a terceira, discute questões voltadas à sustentabilidade e à economia circular no setor energético.

Por fim, a pesquisa visa explorar os desafios regulatórios do setor energético à luz da sustentabilidade e da economia circular, analisando como o direito da energia pode contribuir para a transição energética e para a promoção de um modelo energético mais eficiente e ambientalmente sustentável.

Metodologia

A pesquisa adotou abordagem qualitativa, com base em análise bibliográfica. Segundo Gil (2002) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em materiais já elaborados, principalmente livros e artigos científicos.

Portanto, foram consultados obras acadêmicas, livros, artigos científicos e a legislação relacionada à regulação energética, à sustentabilidade e à economia circular. Para a localização dos materiais, utilizaram-se palavras-chaves pertinentes ao tema de estudo, como "energia solar", "economia circular", "sustentabilidade", "regulação energética" e "energia renovável". As bases de dados utilizadas foram: Google Acadêmico, Scopus, Web of Science, Periódicos CAPES, SciELO e a Biblioteca Digital da Capes.

O objetivo foi identificar os principais desafios regulatórios no setor energético e a legislação relacionada à transição energética no Brasil, bem como discutir conceitos teóricos aplicáveis ao setor, como a sustentabilidade e a economia circular. A escolha dessa metodologia se justifica pela natureza interdisciplinar do tema, que envolve aspectos jurídicos, ambientais e econômicos.

Referencial Teórico

Desafios regulatórios no setor energético

A questão energética começa a ganhar destaque no Brasil a partir da mobilização climática iniciada em 1992, quando, durante a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, foi assinada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Esse tratado, além de reconhecer que os impactos das mudanças climáticas afetam toda a humanidade, teve como objetivo estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, de forma a não comprometer o sistema climático. Embora tenha sido a partir desse evento que as questões energéticas passaram a ganhar maior relevância entre os países, em razão das emissões de gases de efeito estufa, a temática já vinha sendo desenvolvida na legislação brasileira desde 1939.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) foi criado em 1939 pelo Decreto – Lei nº 1.285, de 18 de maio de 1939. Subordinado à Presidência da República, o órgão atuava como instância de consulta, orientação e controle sobre a utilização dos recursos hidráulicos e de energia elétrica, com jurisdição em todo o território nacional, passando, algum tempo depois, a exercer também atribuições executivas.

Em 1960, foi criado o Ministério de Minas e Energia, por meio da Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960, passando o CNAEE a ser subordinado a esse ministério. Em 1961, foi constituída a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS, pela lei nº 3.890-A, assumindo diversas atribuições do CNAEE. Finalmente, em 1996, foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

A Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, instituiu a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), parte integrante da política energética nacional. O objetivo da lei foi contribuir para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (art. 1º, inciso I); promover a eficiência energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis, inclusive por meio de mecanismos de avaliação do ciclo de vida (art. 1º, inciso II); fomentar a expansão adequada da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis (art. 1º, inciso III); e garantir previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis (art. 1º, inciso IV).

Em 16 de dezembro de 2020, por meio da Portaria nº 451, o Ministério de Minas e Energia (MEE) aprovou o Plano Nacional de Energia 2050, que tem como objetivo sinalizar "o compromisso do Governo Brasileiro em nortear as decisões de política energética a partir

de uma visão estratégica e de longo prazo". O documento, elaborado com o apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a partir de diretrizes do MME, também "explora, por meio de cenários, os diversos aspectos da evolução do setor em uma perspectiva de múltiplas alterações na produção e uso de energia, comumente aglutinadas na chamada transição energética". (MME, 2025, p.01).

Em 2022, foi instituído o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), por meio da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Em seguida, em 2024, foi criada a Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, que dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono. A lei institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano, conhecida como a Lei do Combustível do Futuro.

Finalmente, por meio da Resolução nº 5, de 26 de agosto de 2024, foi instituída a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte), com o objetivo, conforme estabelecido no art. 1º, de orientar os esforços nacionais no sentido da transformação da matriz energética para uma estrutura de baixa emissão de carbono, contribuindo para o alcance da neutralidade das emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) no país.

A expansão das energias renováveis e o crescimento da energia solar no Brasil

A variedade de recursos naturais possibilita a diversificação das fontes de energia, o que é essencial para lidar com a transição dos combustíveis fósseis, em um momento histórico decisivo, impulsionado pela crescente conscientização ambiental diante das mudanças climáticas.

Nesse sentido, a energia proveniente do Sol "constitui-se de uma fonte energética inesgotável, possuindo grandes potenciais de exploração, tanto para fins térmicos como elétricos" (Atlas Solar, 2018, p. 18). Além disso, por ser considerada uma energia limpa, torna-se uma alterativa para reduzir a dependência do uso de combustíveis fosseis. O

Brasil, “por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano” (INPE, 2006, p.12).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2024), o Brasil atingiu 93,1% da geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2023. Desse percentual, as hidrelétricas, as fotovoltaicas e as eólicas, contribuíram para que a matriz elétrica do país continue se destacando como uma das mais limpas do mundo. No mesmo ano, o país bateu recorde na expansão de energia solar, com acréscimo de 3 Gigawatts à matriz energética brasileira (MME, 2024).

Todavia, apesar de ser considerada renovável, inesgotável e benéfica para o meio ambiente, a energia solar depende da instalação de placas solares, também chamadas de painéis solares, para seu funcionamento. Estes, além de serem instalados em telhados, também podem ser aplicados no solo, por meio de estruturas. Isso causa, inevitavelmente, impacto na biodiversidade do local onde as placas são instaladas.

De todo modo, já existem estudos em andamento na Universidade de Lancaster, que investigam diferentes cenários para a população de abelhas, que está em declínio em toda a Europa. Segundo esses estudos, parques solares maiores e com riqueza de recursos, como a plantação de flores, podem aumentar o número de abelhas, inclusive para além dos limites dos próprios parques (Solfácil, 2025).

Sustentabilidade e economia circular no setor energético

A sustentabilidade prioriza as pessoas e suas condições de vida, sendo derivada da ideia de proteção ambiental antropocêntrica. Nesse aspecto, o desenvolvimento deve estar em equilíbrio, abandonando a concepção de que o meio ambiente é algo secundário, e reconhecendo que a sustentabilidade abrange não apenas os aspectos sociais e econômicos, mas também ambientais (Rech, 2020).

O princípio nº 4 da Declaração Rio-92, consagra: “Para chegar-se a um desenvolvimento sustentável, a proteção do meio ambiente deve fazer parte do processo do desenvolvimento e não pode ser considerada isoladamente”. Isso significa que, no processo de formulação das metas de desenvolvimento, a questão ambiental deve integrar o próprio processo, e não ser analisada separadamente (Brasil, 1992).

Paiva (2019) defende que o desenvolvimento sustentável é um projeto social e político voltado à erradicação da pobreza, à melhoria da qualidade de vida e ao atendimento das necessidades humanas básicas. A proteção ambiental, enquanto direito humano, é uma responsabilidade compartilhada entre governos, organizações e sociedade. Entretanto, atingir esses objetivos requer transformações profundas nos sistemas sociais, produtivos e no uso de recursos naturais, além de superar desafios como o consenso sobre ações, a revalorização de bens humanos e naturais e a reversão de tendências atuais (Jr; Reis, 2016).

A economia e o meio ambiente são interdependentes, tornando cruciais as políticas públicas e privadas voltadas à reposição dos recursos naturais necessários à sustentabilidade econômica e à vida. Contudo, o modelo de consumo desenfreado, marcado por produtos de vida útil curta, impulsionados por modismos e publicidade, acelera a geração de resíduos. O uso de materiais não biodegradáveis e nocivos, somado à urbanização acelerada e à expansão de megalópoles com baixa qualidade de vida, agrava esse problema, especialmente em países em desenvolvimento (Jr; Reis, 2016).

Uma das grandes preocupações atuais, em matéria ambiental, é o impacto do modelo econômico linear de produção, centrado na lógica de extrair, produzir, usar e descartar. Nesse sentido, a adoção de modelos de produção baseados na economia circular, inspirados nos princípios de reciclar, reutilizar, reparar e remanufaturar, emerge como solução para minimizar os impactos ambientais, alinhando-se aos princípios da economia verde e do desenvolvimento sustentável.

O modelo linear apresenta desafios significativos para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, prejudicando o meio ambiente e dificultando a equidade social global (Frosch; Gallopoulos, 1989). Há um intenso debate sobre a compatibilidade entre crescimento econômico contínuo, proteção ambiental e justiça social (Jackson; Senker, 2011). Esse modelo, caracterizado por fluxos materiais e energéticos lineares, esgota recursos naturais e sobrecarrega o sistema com resíduos e emissões (Korhonen, *et al.*, 2018).

O sistema linear e o circular diferem na forma de criar ou manter valor. No modelo linear, as matérias-primas são extraídas, transformadas em produtos e, posteriormente, descartadas como resíduos, com foco na maximização da produção. Por outro lado, a economia circular adota a abordagem dos 3Rs: reduzir o uso de recursos, reutilizar produtos e

peças, e reciclar matérias-primas (Liu *et al.*, 2017). Embora a economia circular promova o fechamento do ciclo de materiais e energia, a reciclagem total é limitada por leis físicas e oportunidades perdidas, o que torna o gerenciamento de resíduos, como aterros e incineração, um desafio ambiental significativo (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

Dessa forma, a economia circular se destaca ao expandir o foco da produção para o sistema como um todo, promovendo maior longevidade e diversificação na criação e captura de valor. De forma integrada, busca restaurar recursos físicos, regenerar sistemas naturais e antrópicos, além de gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais. Quatro componentes principais definem esse modelo: a recirculação de recursos e energia; a abordagem multinível; a contribuição para o desenvolvimento sustentável; e a relação com a inovação social. Para alcançar seus objetivos, a economia circular se baseia em três princípios: a preservação do capital natural, a maximização da eficiência dos recursos e a promoção da efetividade sistêmica (Jugend; Bezzera; Souza, 2022).

Portanto, o desenvolvimento sustentável exige uma visão integrada e multidisciplinar. No setor energético, as iniciativas abrangem desde o uso de resíduos orgânicos para gerar energia limpa, até novos modelos de negócios e gestão energética. O conceito de economia circular vai além do reuso e reciclagem de resíduos, abrangendo a reestruturação dos processos produtivos para reduzir descartes e maximizar a eficiência no uso de recursos e energia (Weetman, 2019).

A energia é fundamental para o desenvolvimento, mas o aumento do consumo de combustíveis fósseis resulta em poluição ambiental em níveis local, regional e global. Grande parte dos equipamentos e processos atuais foi criada em uma época de energia barata e com pouca preocupação ambiental, o que abre muitas oportunidades para melhorar a eficiência energética, aumentar a competitividade empresarial e aprimorar a imagem de indústrias poluentes (Goldemberg, 1998).

Embora as energias renováveis sejam consideradas limpas e contribuam para a redução das emissões de gases de efeito estufa, também apresentam desafios relacionados à gestão de resíduos. Componentes como baterias, turbinas eólicas, inversores e módulos fotovoltaicos possuem vida útil limitada e, quando descartados, podem gerar impactos ambientais significativos (Santos, 2018). Nesse cenário, a economia circular é essencial para promover a recirculação de materiais, maximi-

zar a reutilização de componentes e fomentar a reciclagem de materiais críticos, assegurando que o setor energético avance de forma sustentável e alinhada aos princípios da gestão ambiental.

Considerações Finais

Conforme se depreende da pesquisa realizada, o setor energético enfrenta desafios para conciliar e manter o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental alinhados. Embora a energia produzida no Brasil seja, em sua grande maioria, considerada limpa, em razão das fontes renováveis, com destaque ao crescimento da energia solar, ainda existem obstáculos a serem superados.

Nesse sentido, o Direito da Energia, embora incipiente, desempenha um papel essencial na regulamentação das atividades do setor, garantindo segurança jurídica e o equilíbrio entre os interesses de diversos setores, em especial o econômico. A análise do panorama regulatório demonstrou a evolução das normas que estruturam o setor energético no Brasil, desde as primeiras regulamentações até as políticas recentes voltadas para a transição energética e a descarbonização da matriz energética nacional, o que demonstra um cenário favorável no enfrentamento das mudanças climáticas, uma vez que a implementação de políticas como o RenovaBio, o Plano Nacional de Energia 2050 e a Política Nacional de Transição Energética (PNTE) reforçam o compromisso do país internamente e internacionalmente com um modelo de desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, parte-se da premissa de que a economia circular, conforme explicam Montefusco e Calissi (2021) e Meller-Hannich e Krausbeck (2021), ao se opor ao modelo tradicional linear de produção e consumo, busca estabelecer um ciclo fechado, no qual os recursos são constantemente reutilizados e reciclados, diminuindo a quantidade de resíduos e a necessidade de novos recursos naturais. Esse modelo de desenvolvimento visa, entre outros objetivos, a redução do impacto ambiental, a maximização da eficiência no uso dos materiais e a promoção de um consumo mais consciente e responsável. No entanto, a integração entre regulamentação, inovação tecnológica e práticas sustentáveis será determinante para a construção de um sistema energético mais eficiente e de baixo impacto ambiental, além de favorecer o clima.

Dessa forma, a promoção de uma revisão coordenada do marco regulatório do setor energético, que reconheça a eficiência da autopro-

dução, da geração distribuída e da cogeração, aliada à sua articulação com políticas ambientais, econômicas e tecnológicas, contribui para a construção de um ambiente favorável à inovação e à adoção de modelos de economia circular na indústria.

Conclui-se, portanto, que a evolução do Direito da Energia, bem como do próprio setor energético, deve ocorrer em consonância com os princípios da sustentabilidade, assegurando uma matriz energética progressivamente mais limpa, segura e acessível às futuras gerações (PNE, 2050). Em suma, espera-se que este artigo incentive agentes e tomadores de decisão do setor energético brasileiro a incorporar a economia circular em suas estratégias, promovendo sua aplicação em toda a produção de combustíveis e geração de energia.

Referências

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR /Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rüther. – São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p.; (PAPEL)

ATLAS SOLAR DO RIO GRANDE DO SUL /Rafael Haag; Raiana Schirmer Soares; Geórgia Andrade Tomaszewski; Claudinéia Brazil; Fabiano Perin Gasparin; Augusto Blauth da Silva – Porto Alegre: UERGS, 2018.

BRASIL. A Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/szzGBPjxPqnTsHsnMSxFWPL/?lang=pt. Acesso em: 26 jan. 2025.

FROSCH, R.A., GALLOPOULOS, N.E. “Strategies for Manufacturing”. **Scientific American**. 261 (1989). pp. 833–845. Disponível em: https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144. Acesso em: 26 jan. 2024.

GEISSDOERFER, M. “The Circular Economy – A new sustainability paradigm?” **Journal of Cleaner Production**. 143 (2017), pp. 757–768. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048. Acesso em: 26 jan. 2024.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 3 ed. São Paulo, 2002.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

GOVERNO FEDERAL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Fontes renováveis responderam por 93,1% da geração de energia elétrica em 2023. Disponível em https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/fontes-renovaveis-responderam-por-93-1- da-geracao-de-energia-eletrica-em-2023. Acesso em 25 de jan. de 2025.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: +A Educação – Cengage Learning Brasil, 2014. E-book. p.3.

JACKSON, T., SENKER, P. “Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet”. **Energy & Environment.** 22, nº 7, (2011), pp. 1013–1016. Disponível em: https://doi.org/10.1260/0958-305X.22.7.1013. Acesso em: 26 jan. 2024.

JR, Arlindo P.; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2016. E-book. p.86.

JUGEND, Daniel; BEZERRA, Barbara S.; SOUZA, Ricardo Gabbay de. **Economia Circular: Uma rota para a sustentabilidade**. São Paulo: Grupo Almedina, 2022. E-book. p.31.

KORHONEN, J., HONKASALO, A., SEPPÄLÄ, J. “Circular Economy: The Concept and its Limitations”. **Ecological Economics**. 143 (2018a), pp. 37–46. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041. Acesso em: 26 jan. 2025.

LIU, L., LIANG, Y., SONG, Q., LI, J. “A review of waste prevention through 3R under the concept of circular economy in China”. **Journal of Material Cycles and Waste Management.** 19 (2017), 1314–1323. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10163-017-0606-4. Acesso em: 26 jan. 2025.

MELLER-HANNICH, Caroline; KRAUSBECK, Elisabeth. Sustentabilidade, a economia circular e o direito do consumidor na Alemanha. **Revista de Direito do Consumidor**, v. 137, p. 17-31, set./out. 2021.

MONTEFUSCO, Renato Zanolla; CALISSI, Jamile Gonçalves. Carbon Pricing A Economia Circular e suas Escolas de Pensamento em prol da Precificação das Emissões de Carbono como Fundamento Garantidor do Direito Fundamental À Sustentabilidade. **Jornal Jurídico** (J²), v. 4, n. 1, p. 007-026, 2021.

OLIVEIRA, Emerson Ademir Borges de; SILVA, Renata Cristina Oliveira de Alencar; FERRER, Catharina Martinez Heinrich. Economia circular: garantia para o direito fundamental ao meio ambiente equilibrado. **Revista de Direito Ambiental**, v. 103, p. 391-412, jul./set. 2021.

PAIVA, Francisco Cleiton da Silva. A proteção do meio ambiente como pressuposto dos direitos humanos. Jus, Teresina, 2017. Disponível em: https://jus.com.br/artigos/61291/a-protecao-do- meio-ambiente-como-pressuposto-dos-direitos-humanos#google_vignette. Acesso em: 26 jan. 2025.

RECH, Adir Ubaldo. **Inteligência artificial, meio ambiente e cidades inteligentes**. Caxias do Sul: Educs, 2020.

SANTOS, Thauan; SANTOS, Luan. **Economia do Meio Ambiente e da Energia – Fundamentos Teóricos e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. E-book.

SOLFÁCIL. Impactos da Energia Solar na Biodiversidade. Disponível em https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/impactos-da-energia-solar-na-biodiversidade/. Acesso em 25 de jan. de 2025.

WEETMAN, Catherine. Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. São Paulo: **Autêntica Business**, 2019. E-book. p.122.

O potencial das energias renováveis para o desenvolvimento da agricultura no Brasil

Alice Soares Meira[1], Sabrina Cadó[2], Talissa Truccolo Reato[3], Yasmin de Camargo Borges da Silva[4]
[1]*Universidade de Caxias do Sul/arsoares2@ucs.br*
[2]*Universidade de Caxias do Sul/scado@ucs.br*
[3]*Universidade de Caxias do Sul/ttreato@ucs.br*
[4]*Universidade de Passo Fundo/yasminborgesadvocacia@gmail.com*

Resumo: Este artigo analisa a relação entre as energias renováveis e a agricultura, destacando as diferentes fontes renováveis de energia como potencial para o desenvolvimento da agricultura no Brasil. Inicialmente, verificam-se aspectos das energias renováveis, tais como a solar, a eólica, a biomassa e o biogás, e a relação dessas com a agricultura. Na sequência o estudo aborda como as fontes de energias renováveis podem reduzir, não apenas os custos operacionais, mas também melhorar a aplicação dos processos produtivos, contudo contribuir para a mitigação dos impactos ambientais. Em termos de metodologia essas escritas são uma pesquisa bibliográfica e básica, realizada pelo método hipotético-dedutivo. O estudo conclui que a incorporação das energias renováveis na agricultura é essencial para impulsionar a sustentabilidade e reduzir os impactos socioambientais no Brasil.

Palavras-chave: Agricultura. Desenvolvimento. Direito. Energias renováveis. Sociedade.

The Potential of Renewable Energy for Agricultural Development in Brazil

Abstract: This article analyzes the relationship between renewable energy and agriculture, highlighting the different renewable energy sources as potential drivers for agricultural development in Brazil. Initially, it examines aspects of the relationship between renewable energies–such as solar, wind, biomass, and biogas–and agriculture. Next, the study explores how renewable energy sources can not only reduce operational costs but also improve the application of production processes while contributing to the mitigation of environmental impacts. In terms of methodology, this is a bibliographic and basic research study conducted using the hypothetical-deductive method. The study concludes that the incorporation of renewable energy in agriculture is essential for fostering sustainability and reducing socio-environmental impacts in Brazil.

Key words: Agriculture. Development. Law. Renewable Energy. Society.

Introdução

O Brasil se destaca como um importante produtor agrícola, desempenhando um papel significativo na economia global. Neste contexto, a integração das energias renováveis neste setor traz uma série de vantagens, tais como a redução de emissão de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de energias não renováveis. As fontes de energia renováveis como a solar, a eólica, o biogás e a biomassa não apenas apresentam uma alternativa viável para a utilização de fontes tradicionais, mas também podem promover a sustentabilidade econômica e ambiental no setor da agricultura.

Este estudo tem como objetivo analisar o potencial das energias renováveis para o desenvolvimento da agricultura, considerando suas vantagens, desafios e perspectivas futuras. A adoção dessas tecnologias visa não só o aumento da produtividade agrícola, mas também a promoção de um modelo mais sustentável de utilização dos recursos naturais e da terra.

A agricultura é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, além de utilizar intensamente recursos naturais, enfrentando desafios relacionados às mudanças climáticas, à escassez hídrica e ao crescimento populacional.

O artigo questiona quais os principais desafios da relação entre energia e agricultura no contexto de transição energética, sobretudo no cenário brasileiro. De tal modo, uma das hipóteses, ou seja, um dos desafios, é que apesar do avanço das energias renováveis, a agricultura ainda depende de combustíveis fósseis para o funcionamento de maquinários, transporte e produção de insumos.

Outro revés é a ausência de políticas públicas e de incentivos financeiros que promovam a adoção de tecnologias limpas e a transição para modelos de produção mais sustentáveis no campo. A necessidade de qualificação da mão de obra rural e o acesso limitado às tecnologias inovadoras são outra adversidade.

Embora se trate de uma pesquisa de caráter teórico, busca-se também propor caminhos práticos para orientar políticas públicas e ações concretas no uso sustentável da energia no setor agrícola.

A metodologia adotada neste estudo é de natureza hipotético-dedutiva. Trata-se de uma pesquisa de caráter básico, cujo objetivo principal é a geração de conhecimento teórico. O procedimento metodológico é

bibliográfico exploratório, baseado na revisão e análise de obras acadêmicas e artigos científicos.

Energias renováveis na agricultura

Atualmente, as energias renováveis representam uma parte crescente do consumo global de energia, enquanto os combustíveis fósseis e a energia nuclear ainda dominam a matriz energética mundial (IEA, 2023). O carvão, petróleo e gás foram as fontes energéticas centrais para o avanço tecnológico, mas atualmente enfrentam desafios relacionados aos seus impactos ambientais.

As principais fontes de energia renovável que se aplicam à agricultura são energia eólica, solar, biomassa e biogás. Essas fontes têm o potencial de substituir combustíveis fósseis tradicionalmente utilizados no meio rural, como o diesel, utilizado em tratores e maquinários agrícolas, por biocombustíveis como o biodiesel; a eletricidade gerada por termelétricas a carvão ou óleo combustível, por energia solar ou eólica; e o uso de lenha para aquecimento, por biogás derivado de resíduos orgânicos.

O que se percebe é que

> [...] a sociedade espera da agricultura contribuição significativa na produção de energia renovável (bioenergia), substituindo parte dos finitos recursos de energia fóssil, novos usos de produtos e subprodutos da agricultura na bioquímica e em vastos setores da economia, como propõe a nascente bioeconomia. em resumo, o desafio fundamental é atender a demandas crescentes utilizando os recursos naturais finitos de forma inteligente (Lopes; Contini, 2012, p. 28).

Sendo assim, a agropecuária enquanto um dos pilares da economia nacional, a sua evolução está intimamente vinculada à produção de energia. Nesse contexto, o uso da energia eólica tem se mostrado uma alternativa incentivada, com resultados positivos na criação de sistemas produtivos sustentáveis. De tal maneira, nota-se que "[...] além de ser uma fonte de energia inesgotável e contribuir para a diversificação da matriz elétrica, a energia eólica, quando planejada adequadamente, é bem menos nociva ao meio ambiente e à sociedade" (Paranhos; Da Silva; Cataldi, 2017, p. 200).

A energia solar, por sua vez, é uma das fontes renováveis mais promissoras para a agricultura. E pode ser aplicada de diversas maneiras, como na geração de eletricidade para sistemas de irrigação, de

iluminação e de ventilação em estufas. O uso de energia solar reduz significativamente os custos operacionais, pois é uma fonte gratuita e abundante, além de ser ambientalmente amigável, já que não gera emissões poluentes nem contribui para o aumento da pegada de carbono.

Nesse sentido, a energia solar é utilizada

> [...] para o bombeamento de água em sistemas de irrigação tem se tornado cada vez mais uma opção economicamente competitiva para o pequeno produtor rural – agricultura familiar, sobretudo nas populações localizadas em áreas remotas. Além de possibilitar alavancar este segmento rural é uma alternativa de desprezível impacto ambiental, permitindo que o pequeno agricultor intensifique a qualidade de sua produção. As culturas como pomares, hortaliças e as denominadas culturas orgânicas necessitam, além dos nutrientes adequados, de uma regularidade na sua irrigação. Possibilita melhor captação e o uso mais racional da água, evitando perda da colheita, principalmente, pelo estresse hídrico causado por uma irrigação descontrolada ou escassa. Desta forma, com o suporte da energia fotovoltaica é possível viabilizar todo tipo de cultivo tornando-os competitivos no mercado consumidor (Alvarenga; Ferreira; Fortes, 2014, p. 218).

Embora o investimento inicial em sistemas solares possa ser elevado, a tendência é que os custos se tornem mais acessíveis ao longo do tempo, com uma redução substancial nos gastos com energia elétrica. A energia solar é especialmente vantajosa em regiões com alta incidência de radiação solar, como as áreas semiáridas, onde a oferta de energia convencional é limitada. A instalação de painéis solares em telhados de estufas ou galpões também otimiza o uso do espaço e reduz a pressão sobre as terras agrícolas.

A combinação de energia eólica e solar pode resultar em sistemas híbridos altamente eficientes, garantindo uma oferta energética contínua tanto durante o dia quanto à noite, o que é fundamental para a agricultura.

Outra fonte que merece destaque é a biomassa e o biogás, provenientes de resíduos agrícolas orgânicos, que representam soluções eficientes para a produção de energia de baixo custo, além de reduzir o desperdício de recursos. Resíduos orgânicos, como cascas de café, palha de arroz e restos de frutas, podem ser convertidos em biogás e esse ser utilizado para aquecer estufas ou gerar eletricidade.

Outrossim, é importante destacar que

> O uso de biodigestores na agricultura pode trazer diversos benefícios ao ambiente, promovendo a redução da emissão dos gases do efeito

> estufa e do saneamento rural, evitando a contaminação do solo e de aquífero, além de estimular o manejo adequado dos dejetos dos animais de produção. O uso desse combustível no meio rural pode gerar fonte de renda e desenvolvimento para a agricultura familiar (Praciano et al, 2020, p. 95).

A utilização desses resíduos contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e também promove uma gestão mais eficiente dos resíduos agrícolas. Neste viés, "[...] a adoção de energia renovável pode impactar positivamente as condições socioeconômicas dos agricultores rurais" (Paes, 2024, p. 01).

Um estudo de 2021 faz uma indicação sobre a situação de estudos que se relacionam com energias renováveis nos ambientes rurais. A referida pesquisa mostra que

> Os assuntos referentes a biomassa e biogás, estão em alta quando comparados aos demais, devido à grande contribuição para proteção e preservação do meio ambiente, além de possuírem um grande potencial energético. Seguidos da energia solar, que se destaca por ser um meio inesgotável (Dos Reis et al, 2021, p. 37083).

Nota-se que a aplicação das energias renováveis na agricultura oferece uma série de benefícios ambientais e econômicos. Dentre alguns, destaca-se a redução do uso de combustíveis fósseis e a consequente diminuição das emissões de gases de efeito estufa contribuem de maneira significativa para a mitigação das mudanças climáticas. Fontes como a energia solar e eólica, além de serem limpas, têm baixo impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida.

Vale lembrar que a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015, propôs 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas a serem alcançadas até 2030. O setor agrícola está diretamente relacionado a diversos desses objetivos, especialmente no que tange à erradicação da pobreza, a segurança alimentar, a gestão sustentável da água e a conservação dos ecossistemas.

A integração das energias renováveis à agricultura pode ser um vetor fundamental para alcançar essas metas, ao reduzir os impactos ambientais da produção agrícola e promover um modelo mais eficiente e resiliente, capaz de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Sendo assim, no ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), observa-se que as energias renováveis podem melhorar o acesso à eletricidade em regiões rurais, promovendo uma maior eficiência energética e reduzindo o uso de fontes de energia não renováveis.

Em relação ao ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), a substituição de fontes de energia fósseis por renováveis contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, ajudando a combater as mudanças climáticas.

No âmbito do ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), a energia renovável pode ser usada para melhorar a produção agrícola, aumentando a eficiência da irrigação e outros processos produtivos, o que contribui para a segurança alimentar.

Com relação ao ODS 15 (Vida Terrestre), o uso de energias renováveis promove a conservação dos ecossistemas ao reduzir a poluição e a degradação do solo e da água, garantindo a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Contudo, apesar das vantagens proporcionadas pelas energias renováveis, diversos obstáculos ainda dificultam sua adoção em larga escala na agricultura. O custo inicial elevado e a falta de infraestrutura adequada são adversidades consideráveis, especialmente em regiões com menor desenvolvimento econômico, onde o acesso a linhas de crédito e incentivos financeiros é limitado.

Diversas barreiras econômicas e não econômicas dificultam a adoção das energias renováveis na agricultura.

> Barreiras de incerteza política e regulatória: relacionam-se com a descontinuidade e/ou com a instabilidade das políticas e marcos regulatórios. A garantia do investimento no longo prazo é um fator primordial para que os investidores tenham segurança e para que a política tenha um efeito positivo;
> Barreiras institucionais e administrativas: incluem procedimentos de licenciamento complicados ou lentos. Políticas institucionais claras, coerentes e de longo prazo são necessárias para que não haja inseguranças no mercado;
> Barreiras de mercado: tais como estruturas de preços oscilantes e não competitivos entre energias renováveis e fósseis, informações assimétricas, falhas de mercado, subsídios altos para combustíveis fósseis e o fracasso de métodos de custeio por incorporar custos sociais e ambientais ao preço final;
> Barreiras financeiras: associadas à ausência de oportunidades, como subsídios financeiros, incentivos fiscais e maior possibilidade de financiamento para novos empreendimentos em energias renováveis, uma

> vez que os 4 geradores renováveis impõem altos custos sobre a cadeia elétrica como um todo;
> Barreiras de infraestrutura: que se centram na inflexibilidade do sistema para integrar/absorver energia renovável;
> Falta de conscientização e de pessoal especializado: relacionado ao conhecimento insuficiente sobre a disponibilidade e o desempenho das energias renováveis, bem como, o número insuficiente de trabalhadores qualificados;
> Aceitação pública e barreiras ambientais: ligadas aos impactos externalizados pela adoção e aceitação (ou não) das energias renováveis no mercado. Quando chegam inicialmente ao mercado, as novas tecnologias estão distantes de alcançar seu melhor desempenho e ainda não detêm a confiança do consumidor (Pagel; Campos; Carolino, 2018, p. 04-05).

Nota-se, assim, que a adoção em larga escala das energias renováveis enfrenta um conjunto complexo de barreiras que estão interligadas e exigem abordagens integradas para serem superadas.

A incerteza política e regulatória, somada à falta de políticas institucionais claras e de longo prazo, compromete a segurança dos investimentos e gera instabilidade no mercado. As barreiras de mercado, como a competição desigual com combustíveis fósseis e a falta de precificação dos custos ambientais, dificultam a competitividade das fontes renováveis.

Além disso, desafios financeiros, como o acesso limitado a subsídios e linhas de crédito, e problemas de infraestrutura para a integração da energia renovável à rede elétrica, agravam o cenário.

A falta de conscientização, de pessoal qualificado e a resistência do público em aceitar novas tecnologias também são obstáculos significativos. Portanto, para viabilizar uma transição energética eficaz, é fundamental o desenvolvimento de políticas públicas consistentes, o fortalecimento de mecanismos de financiamento, o investimento em capacitação técnica e a promoção de uma maior conscientização sobre os benefícios socioambientais das energias renováveis.

Entende-se, ainda, que é fundamental que sejam adotadas políticas públicas que incentivem o acesso às tecnologias renováveis, além de programas de educação e treinamento que visem aumentar a conscientização sobre as vantagens dessas fontes de energia.

Com base na revisão apresentada, recomenda-se o fortalecimento de políticas públicas voltadas à capacitação técnica dos produtores, à ampliação de linhas de crédito para aquisição de sistemas fotovoltaicos

e biodigestores, e à criação de programas de assistência técnica que incentivem a transição energética sustentável no campo.

Conclusão

As energias renováveis têm um grande potencial para transformar o setor agrícola, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente. Sua adoção pode resultar em ganhos econômicos significativos, além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas.

No entanto, para que esses benefícios sejam plenamente aproveitados, é necessário o suporte contínuo de políticas públicas, investimentos em infraestrutura e a implementação de programas educacionais que promovam a conscientização e a capacitação dos agricultores. Além disso, é fundamental o desenvolvimento de incentivos financeiros e linhas de crédito acessíveis para viabilizar a transição energética, especialmente para pequenos e médios produtores, que muitas vezes enfrentam desafios.

A transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis é uma necessidade ambiental, e sua implementação no setor agrícola é um passo crucial para garantir a segurança alimentar e a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras. Nesse contexto, a cooperação entre governos, instituições de pesquisa e o setor privado pode acelerar a inovação e tornar as tecnologias renováveis mais acessíveis, impulsionando uma agricultura resiliente e preparada para os desafios climáticos e para atingir os ODS citados nestas escritas.

Portanto, investir em energias renováveis na agricultura não é apenas uma estratégia de sustentabilidade, mas também um fator determinante para a competitividade do setor no longo prazo. O avanço tecnológico, aliado às políticas estratégicas e ao engajamento dos produtores, pode consolidar um modelo agrícola mais equilibrado, que harmonize a produtividade, a preservação ambiental e a inclusão social.

Dessa forma, a agricultura do futuro poderá não apenas atender à crescente demanda global por alimentos, mas também desempenhar um papel essencial na construção de um mundo mais sustentável e energético. E a transição para fontes de energia renováveis e sustentáveis é uma necessidade ambiental, e sua implementação no setor agrícola é

um passo crucial para garantir a segurança alimentar e a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras.

Referências

ALVARENGA, Alexandre Calheiros; FERREIRA, Vitor Hugo; FORTES, Márcio Zamboti. **Energia solar fotovoltaica:** uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. Sinergia, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook** 2023. Paris: IEA, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023 . Acesso em: 08 jan. 2025.

LOPES, Maurício Antônio; CONTINI, Elisio. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis.** v. 32, n. 02, p. 27-34, 2012.

PAES, Juliana Lobo. Proposta de energia renovável para agricultura familiar em propriedades rurais no Município de Paty do Alferes-RJ. **Revista Brasileira de Educação do Campo**. v. 9, p. e15947-e15947, 2024.

PAGEL, Uonis Raasch; CAMPOS, Adriana Fiorotti; CAROLINO, Jaqueline. **Análise dos principais desafios ao desenvolvimento das energias renováveis no Brasil.** *In:* XI CBPE, Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Cuiabá (MT), set. 2018.

PARANHOS, Beatriz Rogers; DA SILVA, Flávio Castro; CATALDI, Marcio. A energia eólica como alternativa energética para agricultura familiar em regiões serranas. **Ciência e Natura**. v. 39, n. 1, p. 193-201, 2017.

PRACIANO, Aline Castro. Contribuição de biodigestores para a agricultura familiar. **Energia na Agricultura.** v. 35, n. 1, p. 95-106, 2020.

REIS, Diana Rosa dos. Cienciometria do uso de fontes de energia renováveis no meio rural. **Brazilian Journal of Development**. v. 7, n. 4, p. 37075-37086, 2021.

Produção de Biossorvente a partir de Resíduos de Tecido para Remoção de Paracetamol

Marina Azeredo Coutinho[1], Nádia Teresinha Schröder[2], Renata Faria Oliveira[3]
[1] Universidade Luterana do Brasil (mahh.coutinho@hotmail.com)
[2]Universidade Luterana do Brasil (nadia.schroder@gmail.com)
[3] R&B Soluções Ambientais/Universidade Luterana do Brasil (renata@reambiental.com.br)

Resumo: A presença de medicamentos em efluentes de águas residuais, superficiais e potável, vem sendo motivo de preocupação, pois seus efeitos são nocivos à saúde humana. Este estudo investigou a técnica de adsorção utilizando retalhos de tecido (100% algodão; 50% algodão e 50% poliéster; 100% polipropileno – TNT), como biossorvente sem ativação e ativado quimicamente com ácido fosfórico, para a remoção de paracetamol de solução aquosa, como uma alternativa para amenizar a quantidade de resíduos sólidos têxteis. Foram realizados ensaios de adsorção em efluente sintético contendo 20 $mg.L^{-1}$ de paracetamol, variando o pH em 4, 6 e 8, contendo 0,05 g de biossorvente para um volume de 50 mL, com agitação por 1 hora. O sólido escolhido para continuação dos ensaios foi o biossorvente ativado após processo de queima proveniente de tecido 100% algodão (ALA) e pH 6. Com 0,2 g de biossorvente e volume de 50 mL, o tempo de contato em que se obteve estabilização e maior eficiência de remoção do poluente foi 120 min. O estudo demonstrou que o ALA removeu eficientemente o paracetamol em solução aquosa, indicando alta capacidade de adsorção, sendo assim uma alternativa de baixo custo de obtenção, visto que o material precursor tem como destino o descarte.

Palavras-chave: adsorção; resíduo têxtil; poluente emergente.

Production of Biosorbent from Tissue Waste for Paracetamol Removal

Abstract: The presence of drugs in wastewater, surface water and drinking water effluents has been a cause for concern, as their effects are harmful to human health. This study investigated the adsorption technique using fabric scraps (100% cotton; 50% cotton and 50% polyester; 100% polypropylene – TNT), as a biosorbent without activation and chemically activated with phosphoric acid, for the removal of paracetamol from aqueous solution, as an alternative to reduce the amount of solid textile waste. Adsorption tests were performed on synthetic effluent containing 20 $mg.L^{-1}$ of paracetamol, varying the pH between 4, 6 and 8, containing 0.05 g of biosorbent for a volume of

50 mL, with stirring for 1 hour. The solid chosen for the continuation of the tests was the activated biosorbent after the burning process from 100% cotton fabric (ALA) and pH 6. With 0.2 g of biosorbent and a volume of 50 mL, the contact time in which stabilization and greater efficiency of pollutant removal were obtained was 120 min. The study demonstrated that ALA efficiently removed paracetamol in aqueous solution, indicating high adsorption capacity, thus being a low-cost alternative, since the precursor material is destined for disposal.

Key words: adsorption; textile waste; emerging pollutant.

Introdução

A vestimenta utilizada pelo ser humano era para proteção e o material mais frequentemente usado era o couro de animais da caça. Após a revolução industrial, as pessoas se vestiam para indicar status social, riqueza ou para fins religiosos. Desde então, muitos outros tecidos foram criados e a sociedade passou a adquirir peças de roupas para atender a moda (Calanca, 2008).

Na indústria têxtil, a geração de resíduos é inevitável, que varia de acordo com a escala produtiva e materiais utilizados pela empresa. Montanhas de resíduos têxteis se formaram no deserto do Atacama, Chile e ameaçam o meio ambiente devido à quantidade de poliéster presente nas tramas das peças, que levam cerca de 200 anos para se desintegrar (Estevão, 2023). Uma alternativa sustentável para os resíduos têxteis gerados pela indústria do segmento, seria a produção de biossorvente a partir das sobras de tecido (Silva *et al.*, 2018). Neste contexto, o carvão ativado é um material carbonáceo que passou por um processo de ativação para aumentar sua capacidade de adsorção, ele pode ser produzido a partir de diversos materiais existentes no meio ambiente. Os materiais precursores para o carvão ativado mais empregados são cascas de coco, resíduos minerais e vegetais, madeira, ossos de animais, caroço de frutos, entre outros, e é utilizado em várias aplicações, como o tratamento de águas, com a finalidade de absorver impurezas (Domingues *et al.*, 2021).

Há crescente preocupação com a contaminação de corpos hídricos por poluentes emergentes como os agrotóxicos, fármacos, produtos de higiene pessoal, hormônios e outros micro poluentes, todos fundamentais para a população, que acabam atingindo redes coletoras de esgotos e mananciais de abastecimento (Chiavelli *et al.*, 2019). No entanto, as tecnologias convencionais usadas para tratamento de esgoto e água para

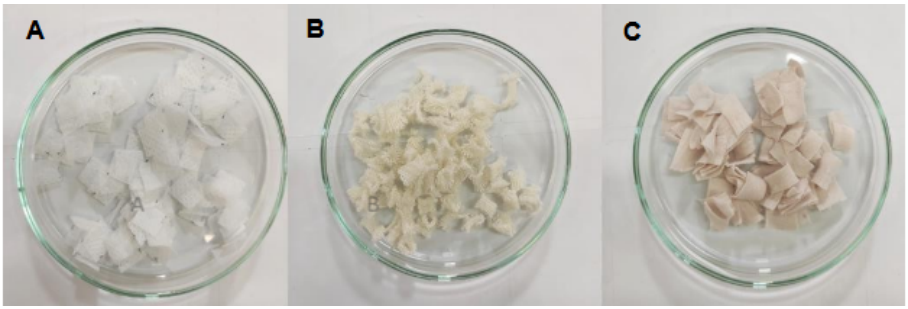
abastecimento da população não são adequadas para remover poluentes emergentes e vários desses compostos são encontrados em água de abastecimento público em diversos países. A Legislação Brasileira não normatiza padrão para remoção de poluentes emergentes. A água potável pode apresentar contaminação por substâncias ainda não legisladas, e mesmo em baixas concentrações, podem ser potencialmente nocivas à saúde humana (Soares & Souza, 2019). Além disso, os micropoluentes possuem resistência em água e são bioacumulativos no ecossistema, portanto tende a causar maiores perturbações no ambiente ao longo dos anos.

Entre as várias tecnologias avançadas de tratamento existentes, a adsorção pode se apresentar como uma alternativa eficiente na remoção de micro poluentes das águas residuais, visto que apresenta um alto grau de purificação para contaminantes em baixas concentrações, e ainda possui outros benefícios como baixo custo, facilidade de operação e a não geração de compostos tóxico (Dembogurski, 2019). Assim sendo, o biossorvente possui um importante papel em diversas áreas devido sua habilidade em adsorver poluentes, e o seu material precursor que pode ser de diversas origens. Neste sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de remoção de paracetamol em soluções aquosas através do processo de adsorção utilizando biossorvente produzido a partir de resíduo têxtil, como alternativa para tratamento de águas contendo fármacos.

Metodologia

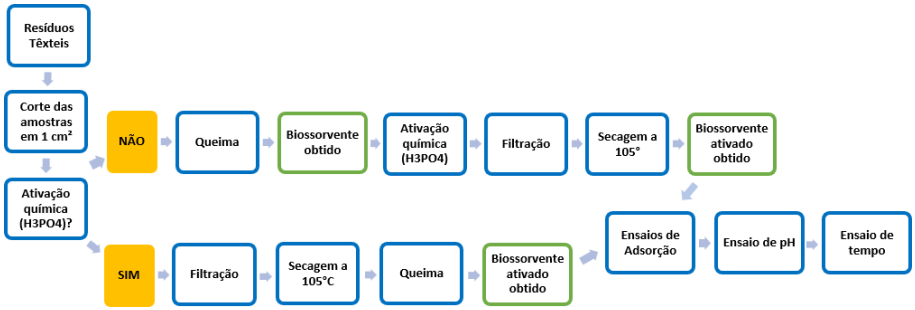
Os procedimentos experimentais da pesquisa foram desenvolvidos no Laboratório de Centro de Pesquisa em Produto e Desenvolvimento – CEPPED da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. As matérias primas utilizadas para produção do biossorvente e ensaios foram resíduos têxteis de diferentes composições: 100% algodão (AL), 50% algodão e 50% polipropileno (MA), 100% poliéster, mais conhecido como TNT (Figura 1). Os reagentes utilizados foram: ácido fosfórico (H_3PO_4), hidróxido de sódio (NaOH), paracetamol e adsorvente. O ácido fosfórico e hidróxido de sódio foram utilizados para ajuste do pH durante os ensaios em Laboratório. Na Figura 2 é possível visualizar o fluxograma das atividades desenvolvidas nesta pesquisa.

Figura 1 – Materiais precursores utilizados para produção dos biossorventes



Legenda: (A) material 100% poliéster – TNT; (B) malha de composição mista (MA); (C) tecido 100% algodão (AL).

Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa



Para a realização dos ensaios, três soluções foram preparadas com pH em 4, 6 e 8 e dissolução de 20 mg de paracetamol em pó, em 1 L de água destilada utilizando um balão volumétrico de 1000 mL. Para fazer a curva de calibração de cada uma das soluções em diferentes pHs, as amostras foram diluídas em diferentes concentrações a partir da solução de 20 $mg.L^{-1}$.

Após a coleta dos tecidos selecionados para esta pesquisa, os retalhos foram cortados manualmente em 1 cm^2 aproximadamente. Primeiramente foi produzido material apenas utilizando as três amostras de tecido e testando três temperaturas diferentes em mufla, 400, 500 e 600°C para encontrar a temperatura ótima para as produções seguintes. Admitindo a melhor temperatura, considerando o aspecto da amostra e melhor rendimento, foram feitos biossorventes em batelada.

Os tecidos 100% algodão e o de composição mista foram ativados com ácido fosfórico P.A., diluído em água destilada na proporção de 1:1. A partir da quantidade de material que se dispunha, em um Becker

foi inserido 100 mL de solução com 23,55g de algodão 100% e em outro copo Becker 14,86 g de malha de composição mista, também contendo 100 mL da solução diluída para ativação, ficaram em agitação constante por 1h a 85°C em aquecedor/agitador magnético. Após o sólido em suspenção foi filtrado e as amostras foram levadas a estufa e lá permaneceram por um período de 41 horas a 105°C para a secagem completa e o líquido da filtração restante descartado. Após o processo de secagem, a amostra foi levada à mufla, onde permaneceu por 1h a 400°C. Outra amostra foi produzida levando o tecido 100% algodão, primeiramente a mufla a 400°C por 1h e após foi ativado em ácido fosfórico P.A. com diluição em água destilada na proporção de 1:1, mantido em agitação constante por 1h a 85°C em aquecedor/agitador magnético. Após o sólido em suspenção foi filtrado e o biossorvente ativado foi levado a estufa, onde permaneceu por um período de 3 horas a 105°C pra a secagem completa e o líquido restante foi descartado. Também foi realizado um teste misturando-se as três amostras em um cadinho, permanecendo por 1 hora em mufla, a 400°C. Os diferentes biossorventes feitos em laboratório foram: AL (biossorvente de tecido 100% algodão), MA (biossorvente de tecido malha de composição mista), AAD (biossorvente ativado antes da queima proveniente de tecido 100% algodão), MAA (biossorvente ativado antes da queima proveniente de tecido malha de composição mista), ALA (biossorvente ativado após a queima proveniente de tecido 100% algodão). O rendimento foi determinado baseado na massa inicial do precursor e na massa final do adsorvente seco, calculado pela Equação 1.

$$\textbf{Rendimento}\ (\%) = \boldsymbol{Mf}\ /\boldsymbol{Mi}\ \boldsymbol{x}\ \mathbf{100} \quad \text{Equação (1)}$$

Mf = Massa final do biossorvente depois de seco em estufa

Mi = Massa inicial do material precursor antes da queima no reator

Os diferentes pHs preparados em solução sintética associados aos diferentes biossorventes foram testados e colocados em frascos Erlenmeyer 50 mL da solução aquosa com concentração de 20 $mg.L^{-1}$ de paracetamol e 0,05 g de biossorvente. As amostras permaneceram sob agitação constante em Incubadora Shaker, com agitação de 180 rpm e temperatura de 25°C, por um período de 1h. Imediatamente após o período em agitação, os sólidos em suspenção foram filtrados e a amostra líquida analisada em espectrofotômetro. Esta metodologia de ensaio foi utilizada para determinar o pH ótimo e o melhor material para o ensaio de adsorção. Após a determinação do pH, foram realizados ensaios de

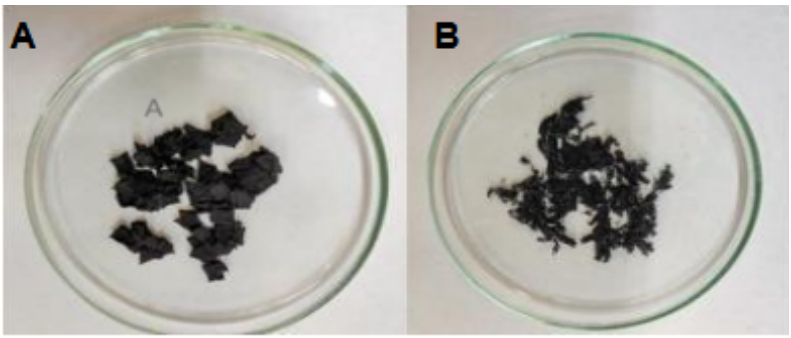
tempo de contato do biossorvente para a remoção de paracetamol. Em um frasco Erlenmeyer contendo 50 mL de solução sintética de paracetamol com concentração de 20 $mg.L^{-1}$, pH 6 e com 0,2 g de biossorvente foi agitada na Incubadora Shaker a velocidade de 200 rpm a 30°C nos tempos 15, 30, 60, 90, 150 e 180 minutos. Após, as amostras foram filtradas e o líquido restante foi lido em espectrofotômetro.

Resultados e Discussão

As amostras e os biossorventes produzidos a partir dos resíduos utilizados podem ser vistos na Figura 3 e 4. O material de composição 100% poliéster – TNT, ao passar pelo processo de queima durante 1 hora a 400°C, ocasionou seu derretimento sendo descartado dos ensaios seguintes.

Para o teste realizado misturando as amostras de retalho 100% algodão, malha de composição mista e material 100% poliéster, obteve-se resultado insatisfatório, visto que cada material possui particularidades distintas, como temperatura e tempo de queima diferentes. Foi observado que a mufla utilizada para os testes possui em seu interior temperaturas diferentes ao longo do processo, por mais que exista a opção de regulação de temperatura, ela não mantém a homogeneidade em seu interior. Por conta disso, foi possível na mesma batelada realizar o processo de queima com os tecidos algodão 100% e malha de composição mista, desde que mantendo o algodão mais para o interior da mufla e o tecido de composição mista mais à frente.

Figura 3 – Biossorventes feitos a partir de resíduos têxteis sem ativação



Legenda: (A) 100% algodão AL; (B) malha de composição mista MA.

Figura 4 – Biossorventes feitos a partir de resíduos têxteis com ativação utilizando H_3PO_4



Legenda: (A) biossorvente ativado antes da queima proveniente de tecido 100% algodão (AAD);
(B)biossorvente ativado antes da queima proveniente de tecido malha de composição mista (MAA);
(C)biossorvente ativado após a queima proveniente de tecido 100% algodão (ALA).

Inicialmente foram previstos três ensaios com diferentes temperaturas (400, 500 e 600°C), no entanto, o ensaio com 400°C apresentou resultado e rendimento satisfatório, pois as amostras carbonizaram completamente. Ainda foi produzido o segundo biossorvente com temperatura de mufla em 500°C com os tecidos 100% algodão e malha de composição mista, porém o rendimento foi menor. Sendo assim, o terceiro teste com 600°C não foi realizado. Os rendimentos dos biossorventes para os testes de 400°C e 500°C, podem ser vistos na Tabela 1. O rendimento do biossorvente ativado com ácido fosfórico, pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1 – Rendimento do biossorvente AL e MA

	Massa Inicial (g)	**Massa Final (g)**	**Rendimento (%)**
AL 400°C	1,07	0,18	16,91
AL 500°C	0,97	0,002	0,21
MA 400°C	0,40	0,14	36,09
MA 500°C	0,68	0,016	2,39

Tabela 2 – Rendimento do biossorvente AAD, MAA e ALA

	Massa Inicial (g)	**Massa Final (g)**	**Rendimento (%)**
		Após Estufa	
AAD	23,55	14,40	61,16
MAA	14,86	10,42	70,08

APÓS MUFLA			
AAD	23,55	10,99	46,67
MAA	14,86	7,15	48,12
Ativação a partir do Biossorvente Al – Após Estufa			
ALA	1,03	1,33	64,6

Neste estudo, o rendimento foi de 65% para a amostra ativada com H_3PO_4, de 45% para a amostra ativada com NaOH. O carvão ativado obtido a partir do eucalipto, com ativação química utilizando H_3PO_4 e NaOH e processo de queima foi obtido por Magalhães *et al.* (2021) e a partir da casca de pequi, ativado quimicamente com H_3PO_4 e NaOH e processo de queima foi obtido por Brandão, Queiroz e Silva (2020) e, também, o proveniente de casca de mangostão, com ativação por H_3PO_4 foi realizado por Zhang *et al.* (2021). Neste estudo, o rendimento foi de 54,4% para H_3PO_4 e de 41,98% para NaOH. Resultados similares foram obtidos por Linhares, Marcilio e Melo (2016), que estudaram a obtenção de carvão ativado a partir da casca da acácia negra, com ativação utilizando H_3PO_4, com rendimento de 37,2%. A ativação química utilizando o H_3PO_4, promove resultados satisfatórios, e quando comparado ao NaOH, obtém-se resultados melhores corroborando com os estudos mencionados anteriormente.

A curva de calibração para o paracetamol foi obtida com diferentes concentrações: 1, 3, 5, 7,5, 10, 15 e 20 $mg.L^{-1}$ (Oliveira, 2013). Para o pH 4, o comprimento de onda foi de 244 nm, tendo como coeficiente de correção molecular de R^2= 0,9998. Já para o pH 6, o comprimento de onda foi de 243 nm e coeficiente de correção molecular de R^2 = 0,9998. Para o pH 8, o comprimento de onda obtido foi de 244 nm e coeficiente de correção molecular de R^2 = 0,9973 (Figura 5). A influência do pH e permite comparar a eficiência de remoção de cada um dos biossorventes produzidos. O comportamento do pH nos diferentes ensaios pode ser observado na Figura 6.

Figura 5 – Curvas de Calibração para pH 4, 6 e 8 em diferentes concentrações lidas em espectrofotômetro

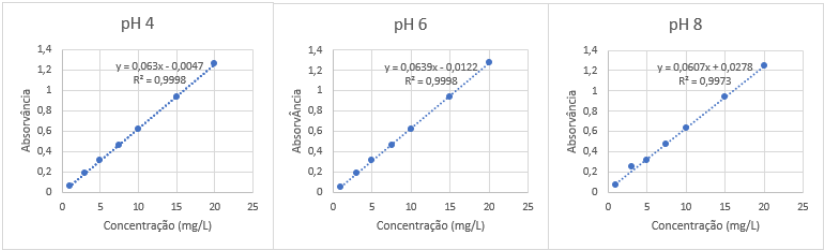
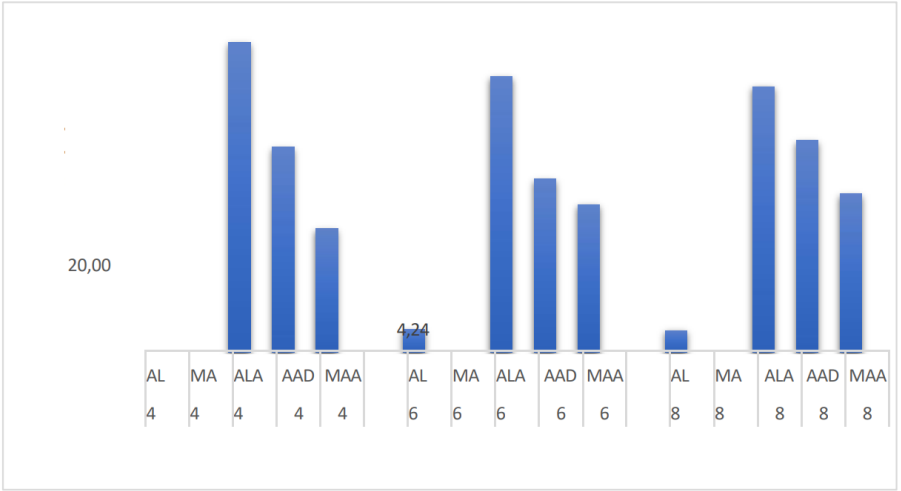


Figura 6 – Influência do pH e percentual de remoção dos biossorventes

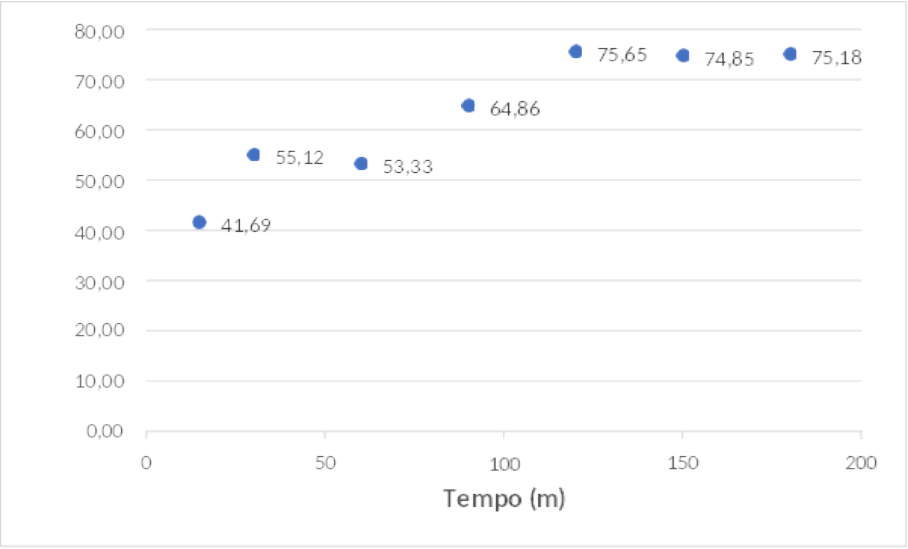


Condições iniciais: m = 0,05 g; V = 50 mL; Ci = 20 mg.L-¹; t = 1 hora.

Os adsorventes que não receberam ativação (AL e MA) não removeram paracetamol do efluente, pelo contrário, os dados obtidos na leitura em espectrofotômetro foram negativos, indicando a ocorrência de liberação de cor na amostra. Apenas o adsorvente AL com pH 6 e 8 apresentou uma baixa remoção. Os adsorventes que foram ativados antes do processo de queima, obtiveram um percentual de remoção entre 31,95 e 38,94% para AAD e para MAA o percentual de remoção ficou entre 22,78 e 29,18%. O melhor biossorvente ativado foi o AAD. Já o biosorvente ativado ALA mostrou um desempenho na remoção de paracetamol de 56,98% para pH 4, 50,73% para pH 6 e 48,89% para o pH 8. O efeito do pH da solução, na remoção do corante azul reativo por adsorção foi estudado por Marin *et al.* (2015), que detectaram melhor resultado em solução com pH 2 mostrando grande potencial de adsorção. Diferentes pHs na remoção de glifosato da água foram estudados por Magalhães *et al.* (2021), que observaram percentual de remoção maior em pHs mais ácidos (remoção de 60% do glifosato em solução com pH 4). O pH da solução afeta diretamente a eficiência da adsorção, devido às mudanças das cargas presentes na superfície do material adsorvente (ALAMIN *et al.*, 2021). O pH da solução afetou diretamente a eficiência de adsorção, ou seja, quanto mais ácido melhor é o percentual de remoção. No entanto, como a diferença foi mínima entre os pH 4 e 6, optou-se por seguir com a amostra de pH 6, pois há

uma economia em reagentes, já que não há a necessidade de controlar este parâmetro. Com o biossorvente ALA, seguiu-se para o ensaio de tempo, variando em 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos. Após, os sólidos em suspenção foram filtrados e o líquido restante foi lido em espectrofotômetro. Na Figura 7 é possível visualizar que no tempo de 120 minutos ocorreu a estabilização, não removendo mais poluente e neste tempo obteve-se um percentual de remoção de 75,65%.

Figura 7 – Efeito do temo para o adsorvente ALA, obtido a partir da leitura em espectrofotômetro



Condições iniciais: pH = 6; Ci = 20 mg.L-¹; m = 0,2 g; V = 50 mL.

Adsorvente proveniente do caroço de azeitona foram utilizados por Hazzaa e Hussein (2015), que obtiveram maior eficiência de remoção de azul metileno a uma temperatura de carbonização de 800 °C e tempo de contato de 120 minutos. Um estudo similar foi realizado por Damasio (2015), que utilizou semente de Moringa oleífera na remoção de diclofenaco de sódio (DCF), e observou que a sua quantidade adsorvida aumentou até 30 minutos, após esse tempo houve estabilização do sistema. Nesta pesquisa, o tempo de 120 minutos foi o que apresentou melhor eficiência de remoção e após este período, o sistema estabilizou. Pode-se observar que este parâmetro não foi padrão em outros estudos, visto que diverge à medida que se muda a concentração de poluente no meio aquoso, a quantidade e tipo de adsorvente disponível, pH, entre

outros parâmetros. Por isso, o ideal é realizar estudo de tempo de adsorção, inclusive pelo fato de que maior tempo de contato não significa que terá uma maior remoção e sim, pode ocorrer a dessorção do adsorbato.

Considerações Finais

É possível considerar que o método empregado para remoção de paracetamol utilizando como biossorvente tecido 100% algodão ativado após o processo de queima (ALA) mostrou-se eficiente nas condições estudadas e que apresentou índice de remoção superior a 75%. Portanto, é possível inferir que essa tecnologia é viável para o tratamento de águas e efluentes que possuam poluentes emergentes, podendo ser aplicado tanto em filtros residenciais, quanto em estações de tratamento de água e esgoto.

Se faz necessário estudar métodos eficientes para a remoção de poluentes emergentes em estações de tratamento de água. Enquanto a Legislação brasileira não normatizar padrão para remoção de fármacos e demais poluentes emergentes presentes nos corpos hídricos, a população deve tomar medidas para minimizar este problema. Neste contexto, este trabalho possibilitou verificar e atestar a eficácia dos filtros feitos a partir de carvão ativado através dos ensaios de adsorção realizados em laboratório. Os filtros de carvão ativado são uma solução simples e de fácil acesso para a população ter em suas residências.

Referências

ALAMIN, N. U.; KHAN, A. S.; NASRULLAH, A.; IQBAL, J., ULLAH, Z.; DIN, I. U.; MUHAMMAD, N.; KHAN, S. Z. Activated carbon-alginate beads impregnated with surfactant as sustainable adsorbent for efficient removal of methylene blue. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 176, p. 233-243, 2021.

BRANDÃO, A. C. T.; QUEIROZ, V.; SILVA, R. G. C. Síntese e caracterização de carvão ativado quimicamente com H3PO4 e NaOH à partir da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60945-60962, 2020.

CALANCA, D. *et al.* História social da moda. Editora Senac, 2008.

CHIAVELLI, H. G. R., *et al.* Remoção de fármacos por adsorção em carvão ativado granular e pulverizado em águas de abastecimento. **Research Gate**, Conference: ConBRepro 2019 – IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa – PR. 2019.

DAMASIO, F. Q. **Remoção de diclofenaco do meio aquoso utilizando sementes de *Moringa oleífera***. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.

DEMBOGURSKI, L. da S. Remoção dos poluentes emergentes paracetamol e diclofenaco sódico por adsorção em carvão ativado em pó. TCC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 63, 2019.

DOMINGUES, L. F. *et al.*, Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl2) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato (NO3). **Brazilian Jounal of Development**, v. 7, n. 1, p. 404-413, 2021.

ESTEVÃO, I. M. Lixão de roupas no deserto do Atacama pode ser visto do espaço. **Metrópoles**. 16 jun. de 2023. Disponível em: https://www.metropoles.com/colunas/ilca- maria-estevao/lixao-de-roupas-no-deserto- do-atacama-pode-ser-visto-do-espaco. Acesso em: 30 nov. 2023.

HAZZAA, R.; HUSSEIN, M. Adsorption of cationic dye from aqueous solution onto activated carbon prepared from olive Stones. **Environnmental Technology e Innovation**, v. 4, p. 36-51, 2015.

LINHARES, F. A. de.; MARCILIO, N. R.; MELO, P. J. Study of activated carbon production from the black wattle shell waste with and without chemical activation. **Scientia cum industrial (Sci. Cum Ind.)**, v. 4, n. 2, 2016.

MAGALHÃES, W. L. E. *et al.* Carvão ativado de eucalipto para remoção de glifosato de água. **Embrapa Florestas**. 2021. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1136785/1/EmbrapaFl orestas-2021-ComunicadoTecnico475-.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

MARIN, P. *et al.* Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5G. **Engevista**, v. 17, n. 1, p. 59-68, 2015.

OLIVEIRA, R. F. **Estudo de adsorção de cromo hexavalente em altas concentrações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVA, T. L. *et al.* Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: Efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 171, p.482-490, jan. 2018.

SOARES, A. F. S.; SOUZA, L. P. S. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. Universidade Federal do Amazonas. Instituto de Saúde e Biotecnologia. Departamento de Medicina. Coari/AM, Brasil. **R. Dir. sanit**., São Paulo v.20 n.2, p. 100-133, jul./out. 2019.

ZHANG, Z. *et al.*, Efficient removal of methylene blue using the mesoporous activated carbon obtained from mangosteen peel wastes: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 315, p. 110904, 2021.

Avaliação dos impactos da carcinicultura na qualidade da água e sedimentos na região estuarina do baixo São Francisco, Nordeste, Brasil

Larissa Santos Xavier[1], Carlos Alexandre Borges Garcia[2], Roger Dias Gonçalves[3], Silvânio Silvério Lopes da Costa[4], Vania Elisabete Schneider[5]
[1]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (xavierlarissa2@gmail.com)
[2]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (cgarcia@academico.ufs.br)
[3]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Departamento de Geologia /Universidade Federal de Sergipe (roger.dias@academico.ufs.br)
[4]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (silvanio@academico.ufs.br)
[5]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e em Engenharia Civil / Universidade Federal de Sergipe (veschnei@ucs.br)

Resumo: Este estudo avaliou os impactos da carcinicultura na qualidade da água e dos sedimentos na região estuarina do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil. Foram realizadas análises físico-químicas da água e concentrações de metais-traço (Cr, Cu, Mn, Ni e Zn) em sedimentos encontrados em três fazendas de camarão. As concentrações médias dos metais seguiram a ordem Mn > Cr > Zn > Cu > Ni, com valores majoritariamente abaixo dos limites críticos estabelecidos pelos Valores Guias de Qualidade de Sedimentos (TEL e PEL), exceto em algumas amostras para Cr e Ni, que atravessaram o TEL. Em relação à qualidade da água, parâmetros como temperatura, pH e sólidos distribuídos totais atendem aos limites da Resolução CONAMA 357/05 para águas doces Classe II. Contudo, os altos valores de condutividade elétrica, carbono orgânico total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) e demanda química de oxigênio (DQO) indicaram influência antrópica, possivelmente associada às atividades aquícolas. Esses resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e manejo adequado de efluentes para minimizar os impactos ambientais da carcinicultura.

Palavras-chave: Carcinicultura. Metais-traço. Qualidade da água.

Assessment of the Impacts of Shrimp Farming on Water and Sediment Quality in the Estuarine Region of the Lower São Francisco, Northeast Brazil

Abstract: This study evaluated the impacts of shrimp farming on water and sediment quality in the estuarine region of the Lower São Francisco, Northeast

Brazil. Physicochemical analyses of water and trace metal (Cr, Cu, Mn, Ni, and Zn) concentrations in sediments from three shrimp farms were conducted. The average metal concentrations followed the order Mn > Cr > Zn > Cu > Ni, with values predominantly below the critical limits established by the Sediment Quality Guidelines (TEL and PEL), except for some specific samples of Cr and Ni that exceeded the TEL. Regarding water quality, parameters such as temperature, pH, and total dissolved solids met the limits set by Resolution CONAMA 357/05 for Class II freshwater bodies. However, the high values of electrical conductivity, total organic carbon, biochemical oxygen demand (BOD5), and chemical oxygen demand (COD) indicated anthropogenic influence, possibly linked to aquaculture activities. These findings emphasize the need for continuous monitoring and proper effluent management to minimize the environmental impacts of shrimp farming.

Key words: Shrimp farming, Trace metals. Water quality.

Introdução

A pesca é uma atividade praticada desde a antiguidade e exerce um papel fundamental na economia global. Entre as atividades aquícolas, a carcinicultura, ou cultivo de camarões, destaca-se como uma das áreas de maior crescimento em diversos países. Essa atividade apresenta significativo potencial para atender à crescente demanda alimentar, viabilizada por avanços tecnológicos e investimentos no setor, os quais contribuem para a estabilização dos sistemas produtivos (Chaikaew *et al.*, 2019; Freire *et al.*, 2021).

A carcinicultura possui elevado potencial de expansão, sendo caracterizada por dois aspectos relevantes: primeiramente, trata-se de uma atividade do setor primário que não depende exclusivamente de chuvas, dado o uso de águas salobras disponíveis, especialmente na região costeira do Nordeste brasileiro. Em segundo lugar, a atividade promove a geração de empregos permanentes para trabalhadores rurais de comunidades costeiras (Santos, 2009; Ferraz, 2018).

No entanto, conforme Noguera-Muñoz *et al.* (2021), o desenvolvimento da carcinicultura em áreas costeiras ao redor do mundo tem sido associado ao desmatamento de extensas áreas de manguezais. No Brasil, de acordo com Oliveira Junior *et al.* (2021), essa atividade é predominantemente realizada em áreas próximas à vegetação de mangue, devido à necessidade de acesso à água salina para os viveiros.

Embora seja considerada uma atividade economicamente viável, a carcinicultura tem gerado preocupações ambientais, especialmente devido à poluição e ao lançamento direto de efluentes em manguezais

e estuários. Esses impactos estão associados a riscos significativos para os ecossistemas marinhos, incluindo a eutrofização das águas e a contaminação dos sedimentos (Lacerda *et al.*, 2021; Barcellos *et al.*, 2019).

Cada etapa da cadeia produtiva do camarão está associada a impactos ambientais distintos. Na fase de larvicultura, por exemplo, observam-se o desmatamento de manguezais, alterações na paisagem de praias e a contaminação de corpos hídricos devido ao lançamento de efluentes ricos em matéria orgânica, impactos que também se verificam nas fazendas de engorda, embora em menor escala (Figueiredo *et al.*, 2003).

A carcinicultura depende, ainda, de insumos externos, como a ração utilizada na fase de engorda. Segundo Badraeni *et al.* (2020), a ração não consumida integralmente pelos camarões transforma-se em resíduo orgânico, o qual compromete a qualidade da água e, consequentemente, se acumula no fundo dos tanques.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos da qualidade da água em viveiros de carcinicultura, bem como investigar as concentrações de metais-traço e elementos prioritários em sedimentos superficiais coletados em 2019, em três fazendas de camarão localizadas no Baixo Rio São Francisco, região Nordeste do Brasil.

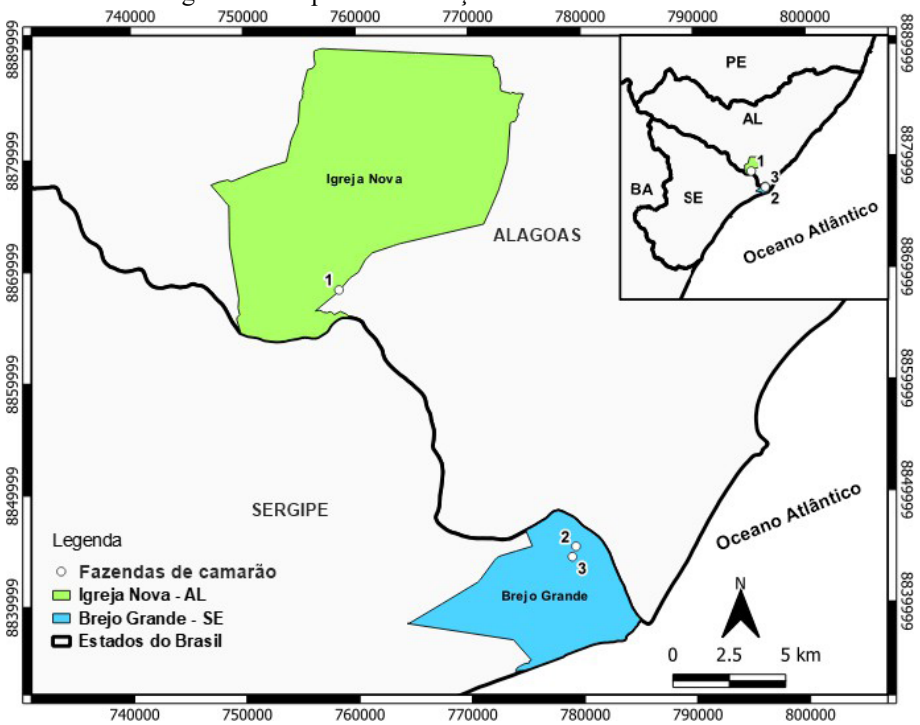
Materiais e Métodos

Local de amostragem

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é subdividida em quatro áreas, o Alto, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco. O Baixo São Francisco (BSF) ocupa uma área de 30377 km², englobando os Estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe, equivalente a 5% da área total da Bacia. O território do Baixo São Francisco, localizado no Estado de Sergipe abrange quatorze municípios, enquanto no estado de Alagoas abrange sete municípios (CODEVASF, 2012; Sergipe, 2008; Alagoas, 2014).

Por este motivo, foram monitoradas durante o período de execução do projeto, três fazendas produtoras de camarão, distribuídas de forma a representar toda a região do Baixo São Francisco, sendo uma fazenda no município de Igreja Nova no Estado de Alagoas, e duas fazendas no município de Brejo Grande no Estado de Sergipe, conforme Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização dos viveiros de camarão



Fonte: Autoria Própria (2025)

Preparo de amostras

As amostras foram coletadas nos viveiros, no ano de 2019. As amostras de sedimento foram coletadas utilizado um coletor Van Veen, sendo que as amostras de sedimento de 5 cm de altura foram colocadas em sacos plásticos com zíper, e as amostras de água foram coletadas em cada ponto de amostragem durante a manhã usando recipientes de polietileno de alta densidade. Todas as amostras foram etiquetadas e armazenadas em gelo a 4°C até o transporte para o laboratório.

Sedimentos

Em laboratório, cada amostra de sedimento foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 40ºC até secagem completa, moídas em moinho de bolas e acondicionada em sacos plásticos com zíper identificados.

Aproximadamente 0,250 g de cada amostra de sedimento previamente seca foi pesada e transferida para vasos de reator de

politetrafluoroetileno (PTFE). As amostras foram misturadas com 10 mL de ácido nítrico concentrado, permanecendo em vasos abertos por aproximadamente 30 minutos, a fim de liberar os gases voláteis formados e iniciar as reações de oxidação. Após esse período, os vasos foram selados e submetidos ao processo de digestão em um forno de micro-ondas Mars X Press CEM 3100 (EUA). O programa de digestão foi realizado em duas etapas: a primeira consistiu em uma rampa de aquecimento de 5 minutos até atingir a temperatura de 175 °C, enquanto a segunda etapa manteve a temperatura constante por 15 minutos, ambas realizadas com potência de 1200 W. Após a digestão, os extratos foram filtrados utilizando papéis filtro quantitativos e transferidos para balões volumétricos de 25 ml, sendo os volumes completados com água ultrapura.

As amostras resultantes foram armazenadas em frascos de polietileno para posterior análise dos teores de metais-traço, incluindo Cr, Cu, Mn, Ni e Zn, por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), empregando o equipamento Varian ES-720 (Mulgrave, Austrália).

Água

Os parâmetros temperatura (T), pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram mensurados in situ utilizando uma sonda multiparâmetro HI 9829 HANNA (Itália), equipada com eletrodos calibrados de acordo com os procedimentos recomendados. A turbidez foi determinada por meio de um turbidímetro Orio AQ3010 Thermo Scientific (Beverly, EUA). A análise de carbono orgânico total (COT) foi realizada pelo método de combustão a alta temperatura, utilizando o equipamento COT N/C 3100 (Analytik Jena, Alemanha). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi determinada pelo método DBO5, enquanto a demanda química de oxigênio (DQO) foi quantificada por espectrofotometria de absorção molecular. Todas as análises seguiram os protocolos descritos nos Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Avaliação da qualidade de água e sedimento

A avaliação da qualidade da água foi realizada com base nos critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, referente à classificação de corpos hídricos como água doce Classe II (Brasil, 2005).

A qualidade dos sedimentos foi estimada utilizando Valores Guias de Qualidade de Sedimentos (VGQS). Entre os VGQS amplamente adotados destacam-se o Nível de Efeito Limiar (TEL – Threshold Effect Level) e o Nível de Efeito Provável (PEL – Probable Effect Level). O TEL refere-se a concentrações químicas abaixo das quais os efeitos biológicos adversos são raramente observados, enquanto o PEL representa concentrações químicas acima das quais os efeitos biológicos adversos ocorrem com maior frequência (Macdonald *et al.*, 1996, apud Yan *et al.*, 2020).

Resultados e Discussão

As concentrações médias dos metais-traço Cr, Cu, Mn, Ni e Zn em sedimentos das fazendas de camarão no Baixo São Francisco (Tabela 1) seguiram a ordem decrescente Mn > Cr > Zn > Cu > Ni. Essa distribuição reflete a maior abundância do manganês em sedimentos, o que é comum em áreas de atividade aquícola, uma vez que o Mn pode ser introduzido pelo uso de insumos agrícolas e rações utilizadas nos viveiros.

Tabela 1 – Concentrações médias de Cr, Cu, Mn, Ni, e Zn em amostras de sedimento de fazendas de camarão na região do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil.

	Cr (µg g $^{-1}$)	**Cu (µg g $^{-1}$)**	**Mn (µg g $^{-1}$)**	**Ni (µg g $^{-1}$)**	**Zn (µg g $^{-1}$)**
Média	26,12	13,56	99,45	11,33	20,37
Mínimo	7,50	1,76	17,51	3,65	3,73
Máximo	46,79	26,94	231,90	23,50	42,51

Ao comparar os resultados obtidos com os Valores Guias de Qualidade de Sedimentos (VGQS), destacam-se os seguintes pontos:

- Cromo (Cr): A concentração média de 26,12 µg g^{-1} está abaixo do Nível de Efeito Limiar (TEL = 37,3 µg g^{-1}), indicando que efeitos adversos sobre organismos aquáticos são improváveis na maioria dos casos. Além disso, os valores mínimos (7,50 µg g^{-1}) e máximo (46,79 µg g^{-1}) sugerem que em algumas amostras os níveis de Cr podem ultrapassar o TEL, aproximando-se do Nível de Efeito Provável (PEL = 90 µg g^{-1}), o que pode representar um risco ambiental pontual.
- Cobre (Cu): A concentração média de 13,56 µg g^{-1} é inferior ao TEL (35,7 µg g^{-1}), indicando uma baixa probabilidade de efeitos

adversos biológicos. Os valores mínimos (1,76 μg g^{-1}) e máximo (26,94 μg g^{-1}) reforçam essa tendência, mantendo-se abaixo do PEL (197 μg g^{-1}).

- Manganês (Mn): Apesar de não haver valores TEL ou PEL estabelecidos para o Mn, sua alta concentração média (99,45 μg g^{-1}) e o valor máximo (231,90 μg g^{-1}) sugerem uma possível influência de insumos utilizados nas fazendas de camarão, como rações e fertilizantes, que podem ser fontes significativas desse metal.
- Níquel (Ni): A concentração média de 11,33 μg g^{-1} está abaixo do TEL (18 μg g^{-1}), indicando que os efeitos biológicos adversos são improváveis. No entanto, o valor máximo (23,50 μg g^{-1}) ultrapassa o TEL e se aproxima do PEL (36 μg g^{-1}), indicando risco em áreas específicas.
- Zinco (Zn): A concentração média de 20,37 μg g^{-1} é inferior ao TEL (123 μg g^{-1}), sugerindo uma baixa probabilidade de efeitos adversos. Mesmo o valor máximo registrado (42,51 μg g^{-1}) permanece bem abaixo do PEL (315 μg g^{-1}).

De forma geral, os resultados indicam que os sedimentos das fazendas de camarão no Baixo São Francisco apresentam concentrações de metais-traço majoritariamente abaixo dos valores críticos definidos pelos VGQS, com exceção de algumas amostras em que Cr e Ni apresentam potenciais riscos locais.

As análises da qualidade da água (Tabela 2) mostram que os parâmetros físico-químicos e indicadores de contaminação orgânica permanecem, em sua maioria, dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de Classe II.

Tabela 2 – Concentrações médias de T, pH, CE, SDT, COT, DBO_5 e DQO em amostras de água de fazendas de camarão na região do Baixo São Francisco, Nordeste do Brasil.

	T (ºC)	pH	CE (μS cm −1)	SDT (mg L −1)	COT (mg L −1)	DBO5 (mg L −1)	DQO (mg L −1)
Média	23,00	7,70	1385,00	830,00	10,19	5,79	104,46
Mínimo	22,93	7,29	612,33	40,00	6,97	2,37	98,51
Máximo	23,49	8,23	1786,00	1060,00	12,70	9,03	110,03

Ao comparar os resultados obtidos com Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de Classe II, destacam-se os seguintes pontos:

- Temperatura (T): A média de 23,00 °C está adequada para o suporte de comunidades aquáticas e dentro do intervalo recomendado pela legislação, que exige variações de temperatura não superiores a 3 °C em relação à condição natural.
- pH: A média de 7,70 está dentro da faixa estabelecida (6,0 a 9,0), indicando condições adequadas para a manutenção de organismos aquáticos e processos biogeoquímicos.
- Condutividade Elétrica (CE): O valor médio de 1385,00 $\mu S\ cm^{-1}$ está elevado, sugerindo a presença de sais dissolvidos, possivelmente associados à proximidade com áreas estuarinas ou ao uso de insumos nas fazendas de camarão. A ausência de limites específicos na legislação dificulta a avaliação direta, mas valores altos podem representar um indicativo de impacto.
- Sólidos Dissolvidos Totais (SDT): A média de 830 $mg\ L^{-1}$ está abaixo do limite máximo de 1000 $mg\ L^{-1}$ estabelecido pela CONAMA 357/05, indicando conformidade com a legislação.
- Carbono Orgânico Total (COT): O valor médio de 10,19 $mg\ L^{-1}$ reflete uma carga orgânica relativamente elevada, o que pode estar relacionado aos resíduos de ração e matéria orgânica presentes nos viveiros.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5): A média de 5,79 $mg\ L^{-1}$ encontra-se dentro do limite máximo de 5 $mg\ L^{-1}$, conforme a resolução, embora o valor máximo (9,03 $mg\ L^{-1}$) ultrapasse o permitido em algumas amostras. Esse indicador reforça a necessidade de manejo adequado para evitar impactos na qualidade da água.
- Demanda Química de Oxigênio (DQO): O valor médio de 104,46 $mg\ L^{-1}$ reflete elevada carga orgânica e pode estar associado a fontes de poluição orgânica, como efluentes das fazendas.

De forma geral, os parâmetros físico-químicos da água indicam que, embora algumas variáveis apresentem conformidade com os limites da Resolução CONAMA 357/05 para Classe II, a alta carga orgânica e os valores elevados de CE e DQO reforçam a influência antrópica relacionada às atividades aquícolas, demandando atenção para o manejo de efluentes.

Tais evidências sugerem que a carcinicultura, mesmo em escala moderada, pode representar uma fonte difusa de poluição orgânica e metálica em sistemas estuarinos. Estudos semelhantes realizados por Yang *et al.* (2017) e Thomas *et al.* (2010) também identificaram a correlação entre a intensificação do cultivo de camarão e o aumento dos níveis de matéria orgânica e nutrientes em corpos hídricos adjacentes.

Nesse cenário, é urgente fortalecer as diretrizes de licenciamento público e monitoramento ambiental para atividades de aquicultura, bem como incentivos para mitigar tecnologias como sistemas de biofiltração, zonas de vegetação ricas e controle nutricional. Essas medidas não apenas minimizam os impactos do ecossistema, mas também promovem maior sustentabilidade e produtividade a longo prazo.

Conclusão

Os resultados obtidos evidenciam que a carcinicultura na região do Baixo São Francisco exerce impactos ambientais moderados sobre a qualidade da água e dos sedimentos. Embora a maioria dos parâmetros físico-químicos e os teores de metais-traço permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 e pelos Valores Guias de Qualidade de Sedimentos (VGQS), a presença de concentrações elevadas de cromo (Cr) e níquel (Ni) em algumas amostras de sedimento, bem como os altos valores de DBO_5 e DQO em amostras de água, indicam a ocorrência de contaminação orgânica e pontuais riscos ambientais.

A identificação de tais padrões sugere a influência direta das atividades aquícolas na dinâmica ambiental local, particularmente pelo uso intensivo de rações e pelo manejo inadequado de efluentes. Nesse contexto, destaca-se a importância de políticas públicas voltadas para o monitoramento contínuo das áreas de produção, com base em critérios técnico-científicos que permitam o controle dos lançamentos e a proteção dos ecossistemas costeiros.

Recomenda-se, como medidas de mitigação, a adoção de práticas de manejo sustentável, tais como: o tratamento prévio dos efluentes antes do descarte em corpos hídricos receptores, a utilização de zonas húmidas construídas e biofiltros naturais, e a implementação de sistemas de recirculação de água nos viveiros. Essas estratégias podem contribuir para reduzir a carga orgânica e a concentração de metais nos ambientes aquáticos.

Este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre os efeitos da carcinicultura no Baixo São Francisco e pode servir como subsídio para a formulação de ações regulatórias e programas de gestão integrada da aquicultura na região. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de análises estatísticas comparativas entre áreas produtoras e não produtoras, além da inclusão de abordagens ecotoxicológicas com bioindicadores, permitindo uma avaliação mais abrangente dos riscos ambientais e da saúde dos ecossistemas.

Referências

ALAGOAS. Região de Planejamento Baixo São Francisco, 2014. Disponívelem: https://dados.al.gov.br/catalogo/pl/dataset/regioes-de-planejamento-estado-de-alagoas/resource/ef3cb5f4-166d-4392-853e-5ff3b5eeebc6?inner_span=True Acesso em: 25 jan. 2025.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association. 2017.

BADRAENI; AZIS, H.Y.; TRESNATI, J.; TUWO, A., "Seaweed Gracilaria changii as a bioremediator agent for ammonia, nitrite and nitrate in controlled tanks of Whiteleg Shrimp Litopenaeus vannamei." **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 564, 2020.

BARCELLOS, D.; QUEIROZ, H.M.; NOBREGA, B.N.; FILHO, R.L.O. *et al. "Phosphorus enriched* effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. " **Marine Pollution Bulletin**. v. 142, 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 29 jan. 2025.

CHAIKAEW, P.; RUGKARN, N.; PONGPIPATWATTANA, V.; KANOKKANTAPONG, V. "Enhancing ecological-economic efficiency of intensive shrimp farm through in-out nutrient budget and feed conversion ratio." **Sustain Environ Res** 29, n 28, 2019.

CODEVASF. Resumo Executivo do Relatório Final: Mapeamento temático de uso da terra do BaixoSãoFrancisco.2002.Disponívelem: https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2019/06/Mapeamento-Tem%C3%A1tico-de-Uso-da-Terra-no-Baixo-SF.pdf Acesso em: 25 jan. 2025

FERRAZ, C.V.H. Licenciamento Ambiental e Carcinicultura Sustentável: Um Estudo das mudanças normativas e suas implicações no Estado Da Bahia. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade Federal da Bahia. 2018.

FIGUEIREDO, M.C.B.; ROSA, M.F.; GONDIM, R.S. *"Sustentabilidade Ambiental da Carcinicultura no Brasil: Desafios para a pesquisa. "* **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 34, no 2, 2003.

FREIRE, M.V.C.; SALES JUNIOR, R.A.; COSTA, M.G.A.; FERREIRA, R.L. *"Eficiência dos* sistemas de cultivo de camarões marinhos. " **PUBVET**, v.15, p.1-7, 2021

LACERDA, L.D.; WARD, R.D.; GODOY, M.D.P.; MEIRELES, A.J.A. *et al. "20-Years Cumulative* Impact From Shrimp Farming on Mangroves of Northeast Brazil." **Frontiers in Forests and Global Change**. Vol. 4. 2021.

NOGUERA-MUÑOZ, F.A.; GARCIA, B.G.; PONCE-PALAFOX, J.T. *et al. "Sustainability* Assessment of White Shrimp (Penaeus vannamei) Production in Super-Intensive System in the Municipality of San Blas, Nayarit, Mexico". **Water**. 2021, 13, 304.

OLIVEIRA JUNIOR, M.A.C.; GOMES, E.R.; ROCHA, G.C. "Environmental Impacts (Negative and Positive) of Breeding in Coastal Environments: Evaluation from bibliometric analysis". **Revista Geociências do Nordeste**. Caicó, vol. 7, n. 2, 2021.

SANTOS, G.P. **Qualidade da água na carcinicultura na grande Aracaju-Sergipe**. Dissertação Mestrado em Agroecossistemas. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2009.

SERGIPE. Plano de desenvolvimento do território do Baixo São Francisco Sergipano. Sergipe. 2008.Disponívelem: https://www.se.gov.br/anexos/uploads/download/filename_novo/1280/cd568a56b5c7dbd802 e2b0164ee3c887.pdf Acesso em: 25 jan. 2025

THOMAS, Y.; COURTIES, C.; HELWE, Y.E. *et al.* "Spatial and temporal extension of eutrophication associated with shrimp farm wastewater discharges in the New Caledonia lagoon". **Marine Pollution Bulletin.** v. 61, 2010.

YANG, H.J.; JEONG, H.J.; BONG, K.M.; JIN, D.R. *et al.* "Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: Spatial distributions, pollution, and ecological risk assessment". **Marine Pollution Bulletin.** v. 159, 2020.

YANG, P.; LAI, D.Y.F.; JIN, B.; BASTVIKEN, D. *et al.* "Dynamics of dissolved nutrients in the aquaculture shrimp ponds of the Min River estuary, China: Concentrations, fluxes and environmental loads" **Science of The Total Environment.** V. 603-604, 2017.

Implantação de rede de monitoramento de águas subterrâneas em Sergipe: O caso do SEHRES – Sergipe *Hydrogeological Research Site* em São Cristóvão – SE

Mariana de Fátima Sá de Jesus[1], Roger Dias Gonçalves[2], Silvânio Silvério Lopes da Costa[3], Larissa Santos Xavier[4], Vania Elisabete Schneider[5]
[1]*Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (marianadefatimasa@academico.ufs.br)*
[2]*Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Departamento de Geologia /Universidade Federal de Sergipe (roger.dias@academico.ufs.br)*
[3]*Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (silvanio@academico.ufs.br)*
[4]*Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (xavierlarissa2@gmail.com)*
[5]*Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e em Engenharia Civil / Universidade Federal de Sergipe (veschnei@ucs.br)*

Resumo: Este estudo foca na implementação do SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), destacando a importância do monitoramento contínuo dos recursos hídricos subterrâneos para a disponibilidade de água, especialmente no Nordeste do Brasil. O sistema de monitoramento inclui 15 poços tubulares em formações quaternárias, como terraços marinhos e depósitos flúvio-lagunares pleistocênicos, visando desenvolver um banco de dados público que abranja a hidrodinâmica de aquíferos rasos. Análises de nível d'água e mapas potenciométricos de 2023 indicam um fluxo dirigido para o Rio Poxim, evidenciando sua interação com as drenagens da bacia do Rio Sergipe. Os resultados revelam o volume de água infiltrada no aquífero após eventos chuvosos, essenciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A manutenção e expansão da rede de monitoramento são cruciais para entender as complexidades do Nexus Água-Energia-Alimento em Sergipe e destacam a importância do monitoramento contínuo para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e influenciar decisões de gestão eficiente.

Palavras-chave: Monitoramento hidrogeológico. Sistema Aquífero Quaternário. Rede piezométrica

Implementation of a Groundwater Monitoring Network in Sergipe: The Case of SEHRES – Sergipe Hydrogeological Research Site in São Cristóvão – SE

Abstract: This study focuses on the implementation of SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), highlighting the importance of continuous monitoring of groundwater resources for water availability, especially in Northeast Brazil. The monitoring system includes 15 tubular wells in Quaternary formations, such as marine terraces and Pleistocene fluvio-lagoonal deposits, aiming to develop a public database that explores the hydrodynamics of shallow aquifers. Water level analyses and potentiometric maps from 2023 indicate a flow directed towards the Rio Poxim, demonstrating its interaction with the drainages of the Rio Sergipe basin. Preliminary data reveal amounts of water infiltrated into the aquifer following rainy events, which are crucial for sustainable water resource management. The maintenance and expansion of the monitoring network at SEHRES are vital to understand the complexities of the Water-Energy-Food Nexus in Sergipe and highlight the importance of continuous monitoring to ensure the sustainability of water resources and influence efficient management decisions.

Key words: Hydrogeological monitoring. Quaternary aquifer system. Piezometric network.

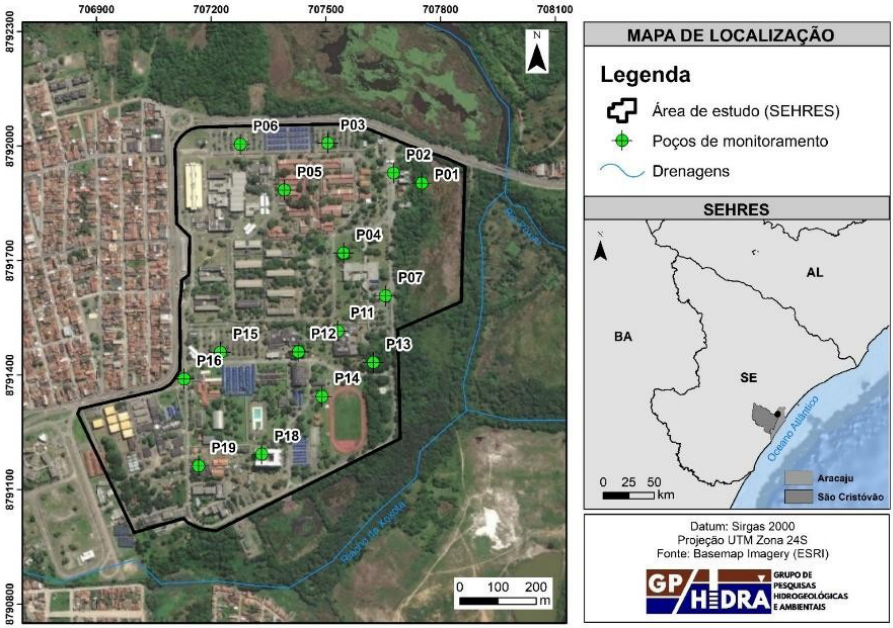
Introdução

As mudanças climáticas, atualmente agravadas por atividades humanas, comprometem a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, impactando principalmente zonas urbanas e seus vulneráveis aquíferos (Boukhemacha *et al.*, 2015). No Brasil, a extração de água subterrânea, especialmente via poços tubulares, é vital para setores como indústria, agricultura e abastecimento doméstico (SGB/CPRM, 2018). O monitoramento dos níveis dos aquíferos é crucial para a gestão sustentável, permitindo análise das variações potenciométricas e das características hidrodinâmicas do lençol freático (De Vries & Simmers, 2002; Healy, 2010; Ronayne *et al.*, 2017; Baum *et al.*, 2018; Gonçalves *et al.*, 2019).

Este trabalho foca no Sergipe Hydrogeological Research Site (SEHRES), localizado no Campus Universitário "José Aloísio de Campos" da Universidade Federal de Sergipe em São Cristóvão/SE. Nesta localidade, 19 poços tubulares foram instalados e catalogados com profundidade de 20 metros e vazões de até 13 m^3/h, sendo 15 selecionados para monitoramento contínuo (de frequência semanal) durante um ano hidrológico. Estes poços fazem parte do Sistema Aquífero

Quaternário (SAQ), um aquífero de caráter poroso, livre e raso (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (SEHRES – *Sergipe Hydrogeological Research Site*), Campus da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão – SE.



Fonte: Autoria Própria (2024)

A coleta de dados inovadores e a formação de um banco de dados público no SEHRES são cruciais para garantir a gestão sustentável das águas subterrâneas, sendo estes os principais objetivos. O campus universitário e áreas próximas atuarão como locais para pesquisas hidrogeológicas contínuas, posicionando o SEHRES como um "sítio experimental". A compilação de dados históricos possibilita facilitar pesquisas em hidrogeologia, gestão de recursos hídricos e estudos climatológicos, proporcionando novas perspectivas sobre os padrões hidrodinâmicos e o balanço hídrico.

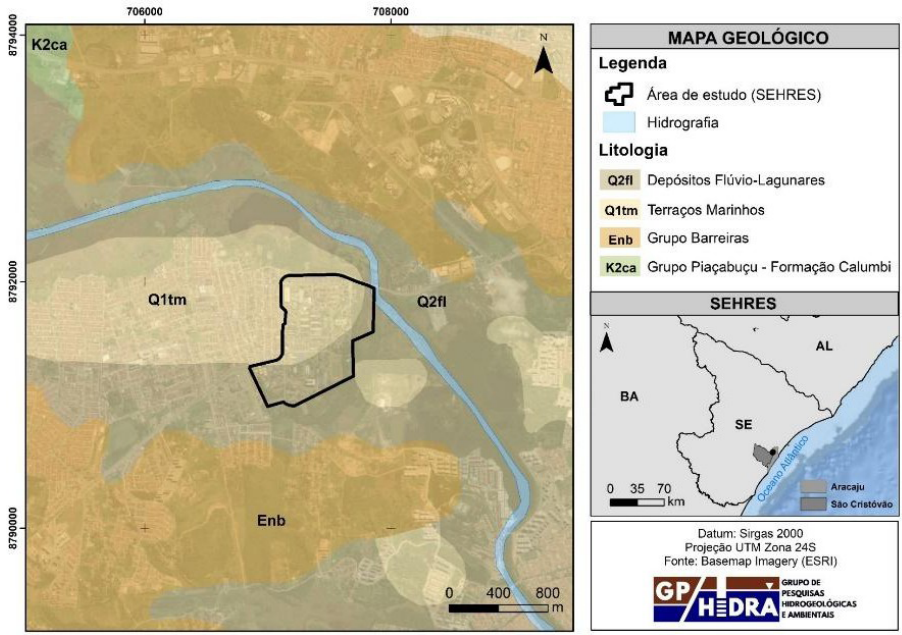
Caracterização da Área e Contexto Geológico

O estado de Sergipe é atualmente dividido em oito bacias hidrográficas, sendo três federais (Rio São Francisco, Rio Vaza Barris e Rio Real) e cinco estaduais (Rio Japaratuba, Rio Sergipe, Rio Piauí, Costeira Sapucaia e Costeira Caueira-Abaís), com climas variados

que influenciam no armazenamento de água em cada bacia (Lucas *et al.*, 2010). O SEHRES situa-se na bacia do Rio Sergipe, originário da Lagoa das Areias em Pedro Alexandre, fluindo por Nossa Senhora da Glória até o Oceano Atlântico na capital Aracaju, com o rio Poxim como um afluente vital e que passa pela área de estudo. O rio Poxim-Açu, o principal corpo d´água da sub-bacia do Rio Poxim, desempenha um papel essencial no fornecimento de água para instituições públicas, incluindo o campus da UFS em São Cristóvão, onde ocorre o estudo (Aguiar Netto *et al.*, 2007).

A geologia da área, ilustrada na Figura 2, apresenta o heterogêneo Grupo Barreiras no seu entorno, além dos depósitos flúvio-lagunares e os terraços marinhos pleistocênicos, destacando-se por suas transgressões quaternárias (Bittencourt *et al.*, 1979). Abaixo dessas formações, está a Formação Calumbi, do Grupo Piaçabuçu, que mostra uma transição de sedimentos carbonáticos para siliciclásticos, com a linha costeira recuando no Cretáceo tardio, levando à deposição de sedimentos em um ambiente transgressivo marcado por folhelhos (Campos Neto *et al.*, 2007).

Figura 2 – Mapa geológico local que apresenta as unidades geológicas aflorantes no SEHRES e seu entorno.



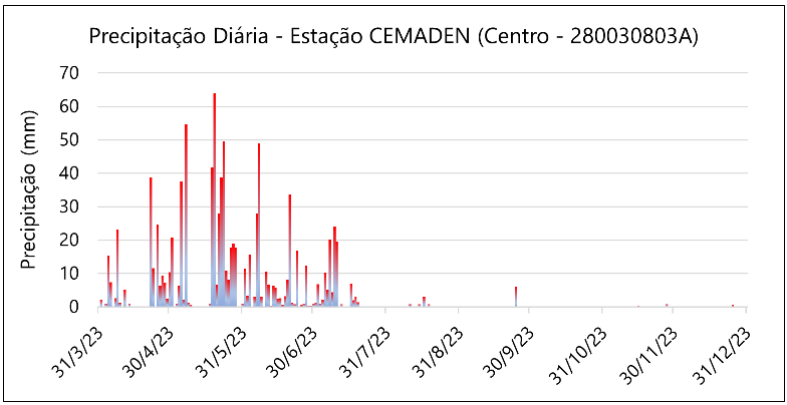
Fonte: adaptado de Geologia do SGB/CPRM (2014)

Caracterização Climática

Conforme a classificação de Köppen e Geiger (Nóbrega, 2010), a sub-bacia do Rio Poxim possui um clima tropical úmido com seca no verão (tipo As), afetado pela baixa altitude e proximidade do mar, sujeito a ventos alísios. Dados do INMET (1991-2020) mostram que a umidade relativa média da área é de 75,9%, com abril a junho sendo os mais chuvosos, tendo uma precipitação média anual de 1189,3 mm. Dezembro é o mês menos úmido com 24 mm, enquanto maio tem a maior umidade, com 226,9 mm.

No intervalo de 31 de março a 29 de dezembro de 2023, em paralelo ao monitoramento piezométrico semanal dos poços tubulares, dados diários de precipitação foram coletados por uma estação pluviométrica da rede do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais). A estação selecionada, chamada Centro (código 280030803A), localiza-se no município de Aracaju (SE), a cerca de 300 metros do local de pesquisa. Durante esse período, a precipitação total registrada foi de 949,40 mm, com destaque para os dias mais chuvosos 7 e 19 de maio, que tiveram precipitações diárias de 54,60 mm e 63,80 mm, respectivamente, ilustradas na Figura 3.

Figura 3 – Precipitações diárias obtidas da estação Centro – CEMADEN, durante o período monitorado de março a dezembro de 2023.



Fonte: extraído de Estação Centro (280030803A) do CEMADEN (2023)

Materiais e Métodos

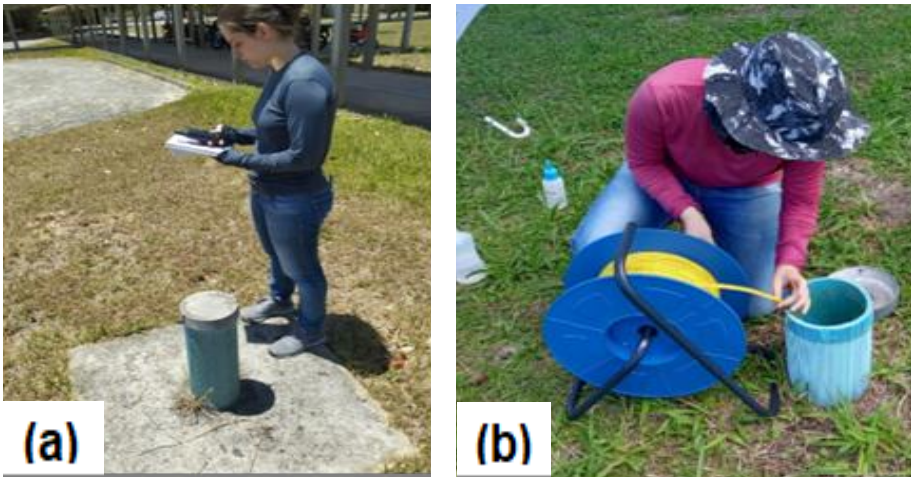
A metodologia usada para estudar a dinâmica do fluxo do aquífero freático local envolveu levantamentos de campo, monitoramento dos níveis de água subterrânea e uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para integrar os dados. Três campanhas de campo foram realizadas para mapear a área e caracterizar os poços tubulares, como visto na Figura 4a.

Inicialmente, foi feito o reconhecimento do local, coletando informações gerais, identificando poços e suas características físicas, e documentando visualmente com fotografias e coordenadas geográficas, facilitadas pelo uso do GPS Garmin GPSmap 62sc e complementadas por um levantamento topográfico preciso (com estação total) para a altimetria dos poços.

O próximo passo envolveu analisar o comportamento potenciométrico do Sistema Aquífero Quaternário ao longo do tempo, selecionando 15 dos 19 poços tubulares catalogados para compor a rede de monitoramento do nível de água subterrânea. Estes poços, com 7 polegadas de diâmetro e 20 metros de profundidade, apresentam vazões de 2,0 a 13 m^3/h segundo a empresa de perfuração, e não possuem bombas instaladas atualmente.

Este estudo, que cobre um período de 40 semanas, registra os níveis de água subterrânea (N.A.) e cargas hidráulicas (h) dos poços, com medições semanais iniciadas em 31/03/2023 e com término em 31/03/2024. O monitoramento foi realizado com um medidor elétrico de alta precisão para nível de água subterrânea (Figura 4b), completando um ciclo hidrológico de coleta de dados.

Figura 4 – Detalhes visuais do poço P07 e seu entorno, além da descrição de informações e coleta de coordenadas geográficas, em a. Em b, etapa de medição do nível d´água e obtenção de dados para cálculo de carga hidráulica (*h*)

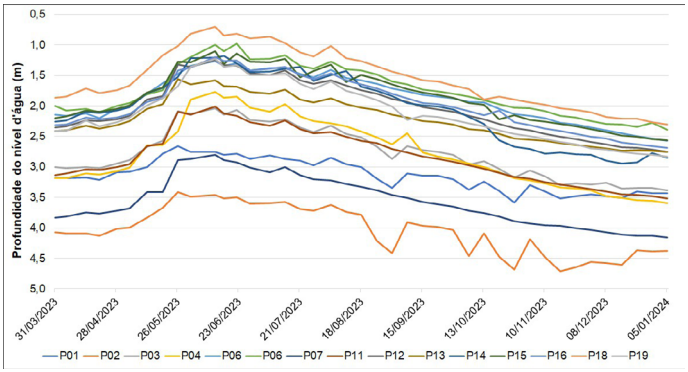


Fonte: Acervo Próprio (2023)

Resultados e Discussões

A primeira medição piezométrica, em 31/03/2023, e a última em 29/12/2023, abrangem 40 semanas de monitoramento, cobrindo os períodos chuvoso e seco com medições semanais do nível estático dos poços. Os dados coletados permitiram a elaboração de gráficos que detalham o nível d'água subterrâneo (N.A), e consequentemente as cargas hidráulicas, nos poços, devidamente apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Variação semanal do N.A. dos 15 poços monitoráveis do SEHRES, referente ao período de monitoramento de março a dezembro de 2023.

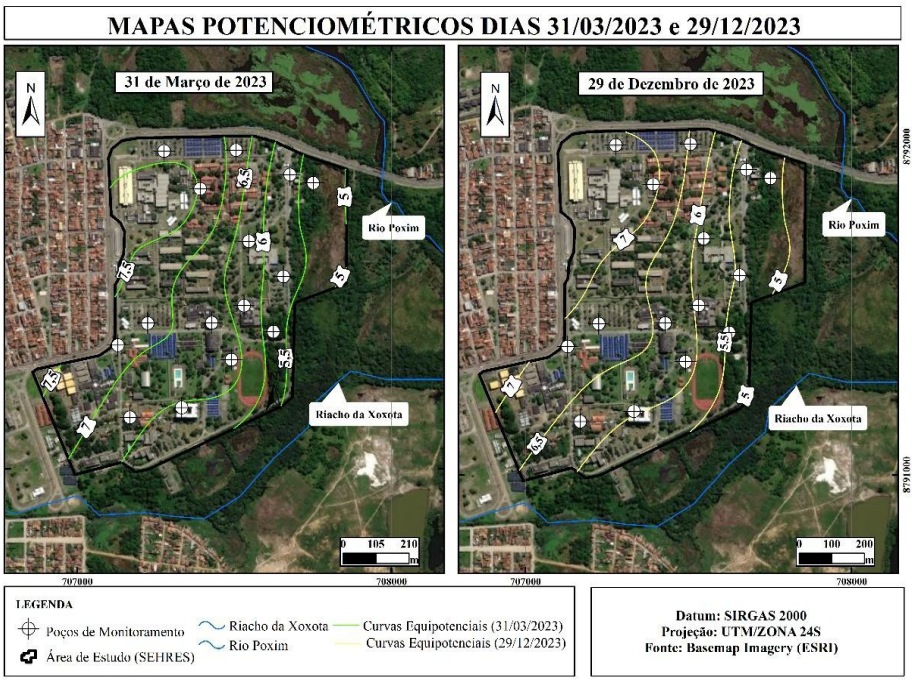


Fonte: Autoria Própria (2024)

Nota-se claramente o processo de recarga subterrânea ocorrendo após o início da estação chuvosa, em todos os poços monitorados, assim como o período de recessão, e consequentemente perda de água armazenada, após o pico das chuvas e início da estação seca. Importante notar que ao final do ciclo, os poços terminaram com nível d'água mais profundo do que quando iniciaram, indicando que o volume líquido de recarga subterrânea não foi suficiente para equilibrar a somatória das perdas do aquífero.

Também foram elaborados mapas potenciométricos do SAQ para ilustrar o monitoramento do nível freático no SEHRES, conforme apresentado na Figura 6. Para exibir as mudanças temporais na superfície potenciométrica, um mapa foi gerado com dados da primeira medição (31/03/2023) e outro com a última (29/12/2023).

Figura 6 – Mapas potenciométricos referentes às medições realizadas em março de 2023 (esquerda) e dezembro de 2023 (direita) e vetores de direção de fluxo subterrâneo preferencial (setas brancas).



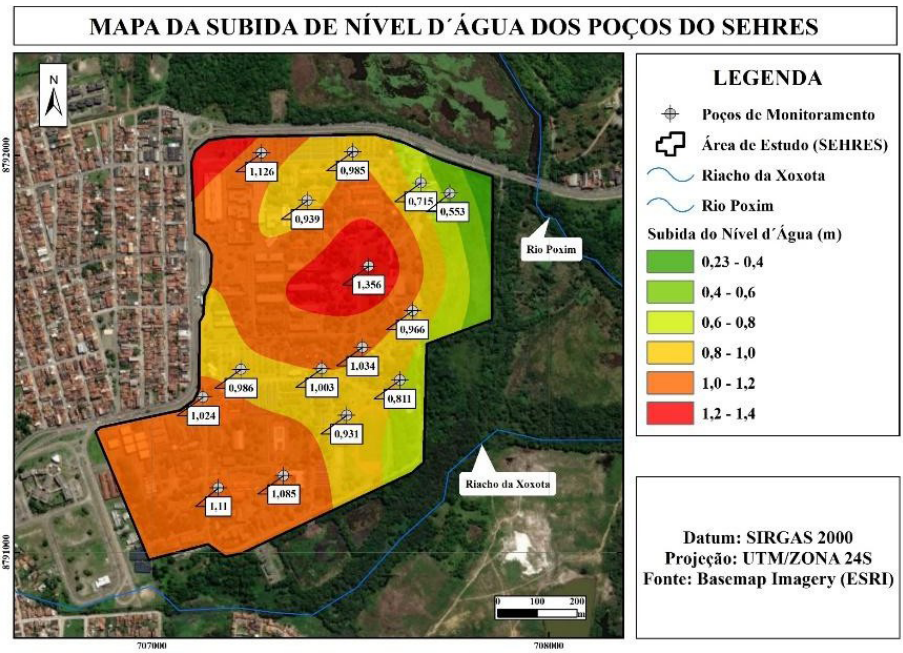
Fonte: Autoria Própria (2024)

A análise das curvas equipotenciais e vetores de fluxo subterrâneo, conforme a Figura 7, mostra que as águas subterrâneas fluem principal-

mente do noroeste para o leste e sudeste, direcionando-se ao rio Poxim e ao riacho urbano da Xoxota. Este padrão indica que o rio Poxim recebe alimentação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário (SAQ), um comportamento comum em aquíferos livres, superficiais e rasos.

As variações nas cargas hidráulicas medidas nos poços antes e durante o pico do evento de recarga entre abril e junho permitiram a elaboração de um mapa ilustrando a distribuição do aumento do nível de água subterrânea, como visto na Figura 7. Foi notado que o aumento máximo atingiu 140 cm, o mínimo 23 cm, com uma média de 100 cm de elevação do nível de água na região. Espacialmente, os maiores aumentos foram registrados na parte central do SEHRES, sugerindo uma taxa de recarga mais elevada nessa região e possíveis características hidráulicas distintas do aquífero. Os resultados reforçam que analisar as condições hidrogeológicas locais é crucial para compreender os fatores que impactam esses valores, como permeabilidade do solo, compactação e usos variados do solo, incluindo irrigação e bombeamento.

Figura 7 – Mapa de subida de nível d'água (lâmina em metros) dos poços do SEHRES durante o período de recarga do ano de 2023.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Conclusões

Os resultados do monitoramento piezométrico e dos mapas potenciométricos evidenciam uma conexão hidráulica significativa entre o aquífero raso e as águas superficiais, especialmente com o Rio Poxim. Este padrão é moldado pelas interações entre o rio, o aquífero e a geologia local, incluindo a variabilidade de estratos permeáveis e o efeito da topografia. Uma análise mais profunda da dinâmica hidrológica exige monitoramento contínuo e uma revisão detalhada dos dados históricos para identificar tendências sazonais e padrões que aprimorem a compreensão da hidrodinâmica.

Ademais, a variação sazonal observada nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário durante os períodos chuvosos e secos de 2023, indica alterações sensíveis na potenciometria, com relativa perda da água armazenada, porém sem mudança no padrão de fluxo. Os próximos passos da rede monitoramento recai em explorar outras variáveis, incluindo mudanças na qualidade da água devido a fatores naturais ou contaminação, uso e ocupação do solo, influência costeira como spray marinho e flutuações na demanda e disponibilidade hídrica local e regional.

Referências

AGUIAR NETTO, A. O. *et al.* "Cenário dos corpos d'água na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim – Sergipe, na zona urbana, e suas relações ambientais e antrópicas" *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, 2007, p.4.

BAUM, C. A.; MANCUSO, M. A.; FRITZEN, R. R. Application of the WTF method in the study of recharge variability in urban aquifer. **Revista Geociências – UNESP – São Paulo.** V.37, n.1, p.85-98, 2018.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G. S.; FLEXOR, J. M. "Quaternary marine formations of the coast of the state of Bahia, Brazil" *In:* INTERNACIONAL SIMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION. São Paulo. 1979, p. 237-251.

BOUKHEMACHA, M. A.; GOGU, C.R.; SERPESCU, I.; GAITANARU, D.; BICA, I. A hydrogeological conceptual approach to study urban groundwater flow in Bucharest city, Romania. **Hydrogeology Journal,** v. 23, n. 3, p. 437, 2015.

CAMPOS NETO, O. P. A.; SOUZA-LIMA, W.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. Boletim de Geociências Petrobras, v.15, p.405-415, 2007.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS – CLIMATE-DATA.ORG. Clima: São Cristóvão**.** Disponível em: https://pt.climatedata.org/americadosul/brasil/ergipe/quase-cristovao-42963/. Acesso em: 29 dez. 2023.

DE VRIES, J. J.; SIMMERS, I. Groundwater recharge: An overview of process and challenges. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 5–17, 2002.

GONÇALVES, R. D.; TERAMOTO, E. H.; ENGELBRECHT, B. Z.; ALFARO SOTO, M. A.; CHANG, H. K.; GENUCHTEN, M. T. Quasi-Saturated Layer: Implications for Estimating Recharge and Groundwater Modeling. **Groundwate**r, v. 58, p. 235–247, 2019.

HEALY, R. W. Estimating groundwater recharge. **Cambridge University Press**, p. 256, 2010. LUCAS, A. A. T.; AGUIAR NETTO, A. DE O.; FOLEGATTI, M. V.; FERREIRA, R. A. "Calibration of hydrodynamic model MIKE 11 for the sub-basin of the Piauitinga river, Sergipe, Brazil". **Revista Ambiente & Água**, v. 5, p. 195-207, 2010.

NÓBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 18-22, 2010.

RONAYNE, M.J.; ROUDEBUSH, J.A.; STEDNICK, J.D. Analysis of managed aquifer recharge for retiming streamflow in an alluvial river. **Journal of Hydrology**, v. 544, p. 373-382, 2017.

SGB/CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe.** Escala 1:250.000. Aracaju, 2014.

SGB/CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SIAGAS – Sistema De Informações De Águas Subterrâneas. Gestão de Informação Hidrogeológica. 2018. Disponível: http://siagasweb.cprm. gov.br/layout/. Acesso em: 29 dez. 2023.

Utilização de tecnologias ambientalmente sustentáveis para remoção de fenol em efluente de transportadora de produtos químicos

Lucas Pimentel Azevedo Almeida, Marlene Guevara dos Santos, Daiana Maffessoni
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (lucas-almeida@uergs.edu.br, marlene-santos@uergs.edu.br e daiana-maffessoni@uergs.edu.br)

Resumo: O fenol, devido à sua toxicidade e baixa biodegradabilidade, representa um desafio ambiental quando presente em efluentes, exigindo soluções eficazes, baratas e sustentáveis para sua remoção antes do descarte. Dessa forma, testaram-se diferentes métodos para o tratamento de efluentes contendo fenol proveniente de uma transportadora de produtos químicos e propôs-se uma alternativa de tratamento que atendesse aos parâmetros de emissão. O tratamento físico-químico utilizou diferentes agentes coagulantes e floculantes, sendo que o coagulante vegetal, combinado com polímero catiônico e carvão ativado, demonstrou a maior eficiência, removendo 98,92±0,01% do fenol. O processo de fotólise não apresentou degradação significativa do poluente, com remoção inferior a 10%. A biossorção foi testada utilizando biomassa de *Sphagnum perichaetiale*, mas resultou em baixa eficiência de remoção, inferior a 3,5%. Assim, a modificação do tratamento físico-químico já existente demonstrou ser mais viável para a empresa, atendendo às exigências ambientais e permitindo ajustes no sistema atual. O estudo reforça a necessidade de testes de viabialidade de utilização de tecnologias ambientalmente sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais, garantindo o atendimento aos parâmetros de emissão e a preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Fotólise, Biossorção, Sustentabilidade.

Use of Environmentally Sustainable Technologies for Phenol Removal in Effluents from a Chemical Transport Company

Abstract: Due to its toxicity and low biodegradability, phenol is an environmental challenge when present in effluents, requiring effective, cost-efficient, and sustainable solutions for its removal before disposal. Thus, different methods were tested for the treatment of effluents containing phenol from a chemical transport company, and an alternative treatment was proposed to meet emission standards. The physicochemical treatment employed various coagulants and flocculants, with the plant-based coagulant, combined with

a cationic polymer and activated carbon, showing the highest efficiency, removing 98.92±0.01% of the phenol. The photolysis process did not result in significant pollutant degradation, with removal rates below 10%. Biosorption was tested using Sphagnum perichaetiale biomass, but it exhibited low removal efficiency, below 3.5%. Thus, modifying the existing physicochemical treatment proved to be the most viable option for the company, complying with environmental regulations and allowing adjustments to the current system. This study reinforces the need for feasibility testing of environmentally sustainable technologies for industrial effluent treatment, ensuring compliance with emission standards and the preservation of water resources.

Key words: Photolysis, Biosorption, Sustainability,

Introdução

O fenol (C_6H_5OH) é um composto orgânico que se caracteriza pela presença de um grupo hidroxila (-OH) ligado a um anel aromático de benzeno. É utilizado de diversas formas na indústria química, como matéria-prima para a fabricação de herbicidas, medicamentos, tintas, lubrificantes, cosméticos, plásticos, etc. O fenol e seus derivados pode ter efeitos adversos na saúde humana e em outros organismos vivos, direta e indiretamente através da contaminação de águas superficiais e subterrâneas, solo e sedimentos. O fenol é classificado como um poluente prioritário devido à sua alta toxicidade em baixas concentrações, sendo considerados tóxicos, cancerígenos e mutagênicos (Bibi *et al*., 2023; Firoozi *et al*., 2023).

Efluentes contendo fenol devem ser tratados para remoção do poluente e consequente redução da sua toxicidade. Esses tratamentos são categorizados em três grupos principais: processos físicos, químicos e biológicos (Bibi *et al*., 2023). No entanto, nem sempre os parâmetros de emissão são alcançados, pois esses efluentes são caracterizados por alta dificuldade de degradação e biodegradabilidade limitada, atribuída à sua estrutura estável e propriedades químicas reativas (Aires *et al.,* 2024).

Dessa forma, a busca por soluções mais eficazes e sustentáveis para a remoção do fenol é essencial para garantir a qualidade dos recursos hídricos e minimizar os danos causados por esse poluente (Bibi *et al*., 2023). O uso de diferentes tecnologias, como fotólise e biossorção têm sido estudados como alternativa para superar as limitações dos tratamentos convencionais (Firoozi *et al*., 2023).

A fotólise é um processo no qual a luz, especialmente a luz ultravioleta, causa a decomposição de substâncias em águas. Essa tecnologia se

destaca por ser uma tecnologia limpa, podendo utilizar radiação solar e pela remoção de substâncias difíceis de eliminar com métodos tradicionais, como pesticidas, medicamentos, hormônios e corantes industriais (Ardila *et al.*, 2019). Já a biossorção, conhecido como um processo que utiliza materiais biológicos como sorventes, tais como, microrganismos, bactérias, algas, fungos, leveduras ou resíduos vegetais tem o objetivo de remover contaminantes, como metais pesados e outros poluentes, de soluções aquosas (Rizzuti *et al*., 2017). Esse processo se destaca como uma solução econômica, sustentável e ecologicamente correta (Maffessoni *et al*., 2023).

Diante da problemática apresentada e visando atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 (Água Potável e Saneamento) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que buscam garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água, ao promover tecnologias ambientalmente adequadas para o tratamento de efluentes industriais, reduzindo a contaminação dos recursos hídricos e incentivando práticas mais sustentáveis na gestão efluentes. O presente trabalho estudou a otimização do processo de tratamento de efluentes para a remoção de fenol em efluentes provenientes da limpeza de tanques em uma transportadora de produtos químicos. Para isso, foram avaliados processos como a fotólise, biossorção e o aprimoramento do processo físico-químico, com o objetivo de atender aos limites de emissão estabelecidos pelos órgãos ambientais e minimizar os impactos ambientais associados à descarga desses efluentes.

Metodologia

O estudo foi realizado utilizando um efluente proveniente da empresa (bruto e tratado) e uma solução preparada (25mg/L), onde foram realizados testes de tratamento físico-químico, fotólise, e biossorção.

Efluente de estudo

O efluente utilizado neste estudo provém de uma transportadora de produtos químicos a granel localizada em Paulínia (SP). Esse efluente é gerado durante o processo de descontaminação dos tanques, que ocorre da seguinte forma: (1) Aplicação de vapor d'água por 30 a 60 minutos para a remoção de vapores e gases do produto contaminante; (2) Aplicação de produtos de limpeza, seguida de enxágue, quando necessário. Após esse processo, o efluente é direcionado para a estação

de tratamento de efluentes onde passa por tratamento físico-químico convencional utilizando sulfato de alumínio. O efluente bruto tem concentração de 45 mg/L de fenol e o tratado de 25 mg/L, com pH 7,36 e 5,41, respectivamente. O parâmetro de emissão para fenol na CONAMA 430/2011 é 0,5 mg/L, dessa forma, necessitava-se de uma eficiência de remoção de fenol de 98% e 98,9%, para o efluente tratado e bruto, respectivamente.

Preparação do efluente sintético

O efluente sintético de fenol foi preparado com concentração inicial de 25 mg/L utilizando água deionizada e fenol cristal (P.A. 99%, Dinâmica Química).

Testes de tratamento físico-químico

O processo de coagulação e floculação foi testado para o efluente bruto com os seguintes agentes coagulantes: sulfato de aluminio 1% (doação, sem rótulo), cloreto férrico (doação, sem rótulo), coagulante orgânico de origem vegetal (Water floc orgânico SL – Water química) e coagulante químico (Water floc CP – Water química). Os agentes floculantes testados foram: polímero catiônico 1% (doação, sem rótulo) e polímero aniônico 1% (Aquafil 60 AP – Klintex). Para polimento final, foi adicionado carvão ativado.

Para realização dos testes, em 100 mL do efluente bruto foram adicionados, 1%, 2%, 3% e 4% (em relação ao volume de efluente) de agente coagulante e as soluções foram mexidas vigorosamente por 30s. Em seguida, o agente floculante foi adicionado 1, 2, 3 e 4 mL nos recipientes, e mexeu-se vagarosamente por 2 minutos. Posteriormente, foi observada a formação do floco e ajustes foram sendo realizados (adicionando mais coagulante ou polímero ou carvão) para que o floco ficasse mais pesado e decantasse. Após o lodo ter decantado foram coletadas alíquotas do efluente sobrenadante para análise em espectrofotômetro UV/VIS para verificação da concentração de fenol.

Fotólise

Os ensaios de fotólise foram realizados à temperatura ambiente, em cabine ultravioleta – UVA equipada com 4 lâmpadas de 10 cm de distância, comprimento de onda 370 nm, com potência de 9 W cada. Foram colocados dentro de cada cabine beckers de 100 mL de soluções

aquosas preparadas e efluente tratado. As soluções foram expostas a radiação durante 60 minutos e foram coletas alíquotas a cada 15 minutos e analisadas em espectrofotômetro.

Biossorção

Os experimentos de biossorção foram realizados com o musgo da espécie *Sphagnum perichaetiale* Hampe. coletados em trilha do terreno do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) situado no município de Imbé, Rio Grande do Sul, Brasil (29°58'33.53"S e 50°8'14.83"O), apresentando registro junto ao Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (Sisgen), sob o nº AC45BDA. A biomassa foi seca em estufa por aproximadamente 24 horas a 70°C para a obtenção da biomassa seca e foi moída em Moinho MA630 (Marconi), por aproximadamente 40 segundos. A espécie *S. perichaetiale* foi testada na concentração de 0,26 g/L, sendo adicionada nas soluções preparadas e efluente tratado. As amostras foram mantidas em agitação magnética, a 800 rpm, em temperatura ambiente, por 60 min. Após esse tempo, foram coletas alíquotas e analisadas em espectrofotômetro.

Determinação analítica

Todas as condições experimentais foram testadas em duplicatas e a concentrações de fenol foram determinadas através do método fotométrico direto com 4-aminoantipirina (C11H13N3O) conforme norma da ABNT 10.740/1989 e Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, utilizando espectrofotômetro LAMBDA™265 UV/Vis (Perkin-Elmer), em cubeta de quartzo de caminho óptico de 10 mm. Com base na curva de calibração traçada, foram analizadas as concentrações do fenol no decorrer do tratamento.

Resultados e discussões

Os resultados estão apresentados por processo realizado: tratamento físico-químico, fotólise e biossorção.

Testes de tratamento físico-químico

Os resultados das configurações de testes de tratamento físico-químico estão resumidos no Quadro 1. O tratamento utilizando coagulante

orgânico de origem vegetal, em conjunto com polímero catiônico e carvão ativado apresentou o melhor remoção de fenol, sendo capaz de formar sedimentos bem definidos, removendo 98,92±0,01% de fenol do efluente bruto. A partir desses resultados, a empresa transportadora de produtos químicos poderá fazer uma adaptação do seu tratamento físico-químico, atingindo os parâmetros de emissão.

Quadro 1 –Tratamento físico-químico realizados e resultados.

Agente coagulante	**Agente floculante**	**Carvão ativado**	**Sedimentação dos flocos**	**Redução da concentração de fenol (%)**
Sulfato de alumínio	Polímero aniônico	Sim	Ausente	-
Cloreto férrico	Polímero aniônico	Sim	Ausente	-
Coagulante orgânico de origem vegetal (Water floc orgânico SL – Water química)	Polímero catiônico	Sim	Presente	98,92±0,1
Coagulante orgânico de origem vegetal (Water floc orgânico SL – Water química)	Não	Não	Ausente	-
Coagulante orgânico de origem vegetal (Water floc orgânico SL – Water química)	Polímero aniônico	Sim	Ausente	-
Coagulante químico (Water floc CP – Water química)	Polímero aniônico	Sim	Ausente	-
Coagulante químico (Water floc CP – Water química)	Polímero catiônico	Sim	Ausente	-

Nenhum dos outros testes mostraram perfeita formação de floco e decantação. Utilizando apenas coagulante vegetal não houve formação de sedimentos definidos, sendo necessário o polímero catiônico e o carvão ativado. O tratamento físico-químico para remoção de fenol pode ser complexo no que tange efluentes, da mesma forma que nesse

estudo, Bender, Souza e Vidal (2019) obtiveram resultados satisfatórios, por exemplo, na remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel utilizando coagulante vegetal (tanino), uso de carvão ativado, e ambos, obtendo remoção de 60%, 47%, 93%, respectivamente. Demonstrando um processo eficiente, quando utilizado o coagulante vegetal juntamente com o carvão ativado.

O percentual de lodo gerado foi de 50%, esse lodo possui características orgânicas (pelo uso do tanino e do carvão ativado) o que facilita a destinação. Entrentanto, a composição do polímero catiônico utilizado precisa ser investigada, uma vez que pode conferir toxicidade ao lodo gerado.

De maneira geral, o uso de coagulantes orgânicos de origem vegetal representa uma alternativa ambientalmente sustentável em comparação aos coagulantes tradicionais à base de sais metálicos, como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Esses coagulantes naturais são biodegradáveis, reduzindo a geração de lodo químico contaminado e minimizando os impactos ambientais associados ao seu descarte. Além disso, sua produção pode ser realizada a partir de fontes renováveis, contribuindo para a economia circular e diminuindo a dependência de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas (Oldoni *et al*., 2022).

Fotólise

Os resultados da fotólise estão apresentados na Tabela 1, onde houve remoção de fenol de 6,63±24,19% para o efluente real após 60 min. Para o efluente sintético, não houve degradação de fenol. Diante dos resultados, pode-se observar que o processo de fotólise não foi eficiente para as condições testadas (tempo e intensidade de radiação). Também, os desvios padrões observados foram muito elevados, sugere-se repetir os experimentos em triplicatas, o aumento do tempo de experimento e da potência das lâmpadas para melhor avaliação da eficiência da fotólise.

Tabela 1 – Percentual médio de remoção de fenol em ensaios de fotólise para efluente sintético e efluente real.

Tempo(min)	Efluente sintético	Efluente real
0	0	0
15	0	16,47±38
30	0	3,94±13,11

45	0	0±1,16
60	0	6,63±24,19

Entrento, a utilização de radiação UV pode ser excelente aliada para incrementar a remoção de fenol combinada com diferentes processos oxidativos avançados (por exemplo, uso de UV e catalisador ou UV-H_2O_2) pois proporciona maior geração de radicais livres (Xu *et al.,*2024; Bar-Niv *et al*., 2023).

Biossorção

O ensaio de biossorção com o uso da biomassa de *S. perichaetiale* foi realizada no efluente tratado e a redução da concentração foi baixa, sendo 2,69 ± 0,0269%, para o efluente sintético e 3,44% para a efluente real, após 60 min (Tabela 2).

Tabela 2 – Percentual de redução da concentração de fenol durante 60 minutos para efluente sintético e real.

Tempo (min)	Efluente sintético	Efluente real
0	0	0
60	2,68±0,3	3,44±0,0

S. perichaetiale tem se mostrado bastante eficiente para remoção de poluentes aquáticos (Maffessoni *et al.,* 2024). Silveira (2021), testou o hormônio sintético 17α-etinilestradiol em solução aquosa e obteve remoção de 63± 6,3% para biomassa úmida e 65 ± 6,5% para biomassa seca. Tholozan *et al*. (2023) removeu aproximadamente 90% do corante cristal violeta e Tesser *et al.* (2021) removeu 100% de ferro.

Ribas e Silva (2022) afirmam que biossorventes são alternativas promissoras na remoção de poluentes orgânicos em soluções aquosas, sendo possível remover 66,37% de nonilfenol utilizando microalgas *Phaeocystis globosa*, 28,9 mg/g de fenol adsorvidos, usando a bucha vegetal *Luffa cylindrica* como adsorvente e 47,44% de herbicida de uma amostra aquosa utilizando casca de frutas de acácia branca, *Moringa oleifera* como biossorvente. Para os autores, os biossorventes são uma excelente alternativa para remover os contaminantes presentes na água, pois oferecem alta eficiência, baixo custo operacional e a possibilidade de reutilização de material, porém, diversos são os fatores que podem comprometer a eficiência dos compostos como: pH, concentração inicial do poluente, quantidade inicial de biossorvente, temperatura, tempo de contato, velocidade de agitação e superfície disponível da biomassa.

Dessa forma, no presente trabalho, se faz necessária a verificação da interação eletrostática entre o fenol e *S. perichaetiale* a partir da análise do diagrama de especiação do composto e do ponto de carga zero do biossorvente.

Conclusões

A remoção de fenol em efluentes provenientes da limpeza de tanques de uma transportadora de produtos químicos pode ser aprimorada por meio da otimização do tratamento físico-químico. A utilização do coagulante orgânico de origem vegetal, em combinação com polímero catiônico e carvão ativado, demonstrou elevada eficiência na remoção do poluente, atingindo valores superiores a 98%, tornando-se uma alternativa viável para adequação aos parâmetros de emissão estabelecidos pela legislação ambiental. Os processos de fotólise e biossorção, apesar de promissores, apresentaram baixa eficiência nas condições testadas, sugerindo a necessidade de estudos adicionais para otimização dos parâmetros operacionais. Dessa forma, recomenda-se a continuidade das pesquisas voltadas à aplicação de tecnologias sustentáveis e integradas para o tratamento de efluentes contendo fenol, visando minimizar os impactos ambientais e garantir a conformidade regulatória.

Referências

AIRES, F. I S..; DARI, D. N.; FREITAS, I. S.; *et al.* Tecnologias avançadas e perspectivas em tratamento de águas residuais com fenol: revelando oportunidades e tendências. **Discovery Water**, v. 4, p. 20, 2024. https://doi.org/10.1007/s43832-024-00076-y

ARDILA, L. K. *et al*. Which route to take for diclofenac removal from water: Hydroxylation or direct photolysis? Journal of Photochemistry and Photobiology A: **Chemistry,** v. 382, p. 111879, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 10740. Água – determinação de fenol total. 1989. Disponível em: https://www.normas.com.br

BENDER, A. F.; SOUZA, J. B. de; VIDAL, C. M. de S. Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel. Ciência Florestal, v. 29, n. 2, p. 571–582, 2019.

BAR-NIV, N. *et al*. Advanced oxidation process UV-H2O2 combined with biological treatment for the removal and detoxification of phenol. **Journal of Water Process Engineering,** 48, 102923, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102923

BIBI, A.; BIBI, S.; ABU-DIEYEH, M.; AL-GHOUTI, M. A. Towards sustainable physiochemical and biological techniques for the remediation of phenol from

wastewater: A review on current applications and removal mechanisms. **Journal of Cleaner Production**, v. 417, p. 1-15, 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430 de 2011 (Federal). Disponível em: https://conama.mma.gov.br/

FIROOZI, Mojgan *et al.* Evaluation of phenol degradation rate using advanced oxidation/reduction process (AO/RP) in the presence of sulfite and zinc oxide under UV, **Optik – International Journal for Light and Electron Optics** 279 (2023) 170787 https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.170787.

MAFFESSONI, Daiana *et al*. Uso de briófitas como uma tecnologia promissora e sustentável na despoluição de águas. In: TRAMONTINA, Ana Carolina *et al.* (org.). Cidades e Sustentabilidade: ações e reflexões para a implementação da Agenda 2030. 4. Ed, Porto Alegre: UERGS, 2024.

OLDONI, T. B.; STEFFENS, C.; DALLAGO, M. R.; STEFFENS, J. (2022). Tanino como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.3, p.100-116.

RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. da. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 2, 2022.

RIZZUTI, A. M.; NEWKIRK, C. R.; WILSON, K. A.; COSME, L. W.; COHEN, A. D. Biosorption of hexavalent chromium from aqueous solutions using highly characterised peats. **International Mire Conservation Group and International Peatland Society.** 2017. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.248

SILVEIRA, T. F. Biomassa de musgo *Sphagnum perichaetiale* Hampe aplicada à remoção do hormônio sintético 17 α-etinilestradiol. Trabalho de Conclusão de Curso – Ciências Biológicas, 2021.

TESSER, T. T.; BORDIN, J. DA ROCHA, C. M. DA SILVA, A. Application of the dry and wet biomass of bryophytes for phytoremediation of metals: Batch experiments. Environmental Challenges. 2021. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100382

THOLOZAN, L. V.; VALÉRIO FILHO, A.; MARON, G.; CARRENO, N. L. V.; DA ROCHA, C. M.; BORDIN, J.; DA ROSA, G. S. Sphagnum perichaetiale Hampe biomass as a novel, green, and low-cost biosorbent in the adsorption of toxic crystal violet dye. Environmental Science and Pollution Research. 2023. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26068-4.

XU, H. *et al.* Degradation of aqueous phenol by combined ultraviolet and electrochemical oxidation treatment. Journal of Cleaner Production, v. 436, p. 140672, 2024.

A diversidade e importância dos insetos como ferramenta na aprendizagem e desenvolvimento na educação infantil

Evilene Silva Pessoa [1], Julienne Do Vale Maciel [2], Jokássia da Silva Nunes [3], Cainã Geovana Ferreira Moura [4], Bruna Vitória da Silva Azevedo [5], Myrelle dos Santos Galvão [6], Luiza Daiana Araújo da Silva Formiga [7]

[1] Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (evillenepessoa19@gmail.com)

[2] Graduada em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (c.biojulienne7@gmail.com)

[3] Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (jokassiadasilvanunes@gmail.com)

[4] Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (geovanacaina2@gmail.com)

[5] Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (brunavitoriaazevedo84@gmail.com)

[6] Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura/UEMA (biomylle@gmail.com)

[7] Professora do Curso de Ciências Biológicas – Licenciatura/Orientadora (UEMA) (luizadaiana@hotmail.com)

Resumo: Os insetos são de fácil acesso e manuseio, um objeto de estudo viável como ferramenta facilitadora de ensino. Conhecer a respeito dos invertebrados é importante para a conservação e proteção de seus habitats. Contudo, a ausência de informações das atividades ecológicas desses indivíduos é considerado um ponto negativo para a conservação de sua diversidade. o presente trabalho tem como objetivo apresentar a importância dos insetos como ferramenta de aprendizagem e desenvolvimento na educação infantil no Centro de Referência e Assistência Social (CRAS) no município de Caxias-MA. O projeto foi realizado no CRAS com crianças entre dois a seis anos. Foi possível explorar individualidade e capacidade das crianças através do Lúdico, sendo possível gerar desenvolvimento social das crianças como diálogos, interações entre outros. Durante as brincadeiras as crianças se envolveram e ao ouvir o som de alguns insetos foram capazes de identificar o bichinho responsável por reproduzir o determinado som. Apresentar os insetos às crianças foi uma ferramenta atrativa, que despertou curiosidades e auxiliou no processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Artrópodes, Conscientização, Meio ambiente.

The diversity and importance of insects as a tool for learning and development in early childhood education

Abstract: Insects are easy to access and handle, and are a viable object of study as a teaching tool. Knowing about invertebrates is important for the conservation and protection of their habitats. However, the lack of information on the ecological activities of these individuals is considered a negative point for the conservation of their diversity. This work aims to present the importance of insects as a learning and development tool in early childhood education at the Social Assistance and Reference Center (CRAS) in the city of Caxias-MA. The project was carried out at CRAS with children aged two to six. It was possible to explore the individuality and capacity of children through play, making it possible to generate social development in children such as dialogues, interactions, among others. During the games, the children got involved and, upon hearing the sound of some insects, were able to identify the little animal responsible for reproducing the particular sound. Introducing insects to children was an attractive tool, which aroused curiosity and helped in the teaching and learning process.

Key words: Arthropods, Awareness, Environment.

Introdução

As crianças são notáveis como sujeitos de identidade e necessidades próprias, que carecem ser disciplinadas e devidamente atendidas, de acordo com constituição federal, de 1988, pela lei nº 8.069, de 1990 (Estatuto da criança e do adolescente-ECA) (Canedo-Junior *et al.*, 2021). As ferramentas de ensino com insetos são pouco exploradas, apesar de possuírem um potencial para o uso, como meios de ensino e aprendizagem. Os insetos são animais de fácil acesso e manuseio, sendo assim um objeto de estudo viável como ferramenta facilitadora de ensino (Amorim, 2020). O contato direto com o ambiente é um aspecto motivador envolvendo emocional dos alunos, levando a reflexões sobre valores, desenvolvimento de atitudes e habilidades. Além de proporcionar uma experiência natural e reduzir a fragmentação do conhecimento (Silva *et al.*,2016).

Explorar o conhecimento na infância, através de trabalhos pedagógicos é essencial, logo, é uma fase onde se pode explorar as peculiaridades de cada um, os profissionais que dispõe de atividades lúdicas contribuem de forma significativa para o aprendizado e desenvolvimento de cada criança (Canedo-Júnior *et al.*, 2021). A falta de informação e aprendizado de crianças sobre práticas educativas ecológicas, atribuem

diretamente na consolidação de um adulto não consciente de suas ações ambientalistas (Silva, 2020).

Trabalhos com desenvolvimento de atividades como instigar a leitura através da roda de leitura, aplicar brincadeiras lúdicas utilizando os insetos como instrumentos entre outros, são essenciais para que as crianças desfrutem do aprendizado e aprendam a importância ecológica e valor biológico desses organismos dentro do ecossistema. Com base nisso, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a importância dos insetos como ferramenta de aprendizagem e desenvolvimento na educação infantil no Centro de Referência e Assistência Social (CRAS) no município de Caxias-MA.

Metodologia

Caracterização da área de atuação

O CRAS do bairro Mutirão, localizado na cidade de Caxias – MA, foi criado com a finalidade de atender famílias em situação de vulnerabilidade social, como aquelas que enfrentam a ausência de renda ou têm acesso limitado aos serviços públicos. O referido CRAS foi implantado em novembro de 2005, tendo como território de abrangência os bairros Vila Paraíso, Castelo Branco, José Castro, Baixinha, Refinaria, Nova Caxias, Mutirão e João Viana.

Algumas das principais funções da instituição envolvem a defesa dos direitos da população, o atendimento psicossocial, a realização de visitas domiciliares e a promoção de atividades comunitárias. Além disso, a instituição implementa campanhas socioeducativas, efetua encaminhamentos para serviços públicos e oferece acompanhamento contínuo para as famílias atendidas.

O projeto foi realizado por um período de doze meses entre os anos de 2023 e 2024, com crianças entre dois a seis anos, no Centro de Referência em Assistência Social (CRAS). Foi realizada uma visita com a equipe multidisciplinar do CRAS para expor os objetivos, metodologias e cronograma de atividade a ser realizado no local de aplicação do projeto.

Etapas do Projeto

O projeto foi realizado em cinco etapas, a saber:

Primeira Etapa: No primeiro encontro no mês de fevereiro de 2024, foi realizada a apresentação do projeto utilizando vocabulários de fácil entendimento para melhor compreensão das crianças a respeito dos insetos. Foi apresentado a elas quem são os insetos, como são, onde os insetos vivem e a importância de atividades exercidas por eles para o equilíbrio do ecossistema.

Segunda Etapa: Posteriormente foram realizadas brincadeiras do tipo (Alfabeto dos insetos, adivinhe o som dos insetos, dados dos insetos e músicas com insetos) utilizando imagens de alguns grupos de insetos como instrumentos.

Terceira Etapa: Na terceira etapa foi apresentado às crianças o livro Ciranda dos insetos, através da roda de leitura coletiva. Explorando o conhecimento do senso comum em relação aos insetos, e os diversos âmbitos de residência que podem ser encontrados alguns grupos triviais de insetos, como barata, formiga, abelha, cigarra entre outros.

Quarta Etapa: Na quarta etapa foi promovida sessões de Cinema com o filme Vida de Insetos. Para assim as crianças entenderem os locais onde os insetos vivem, e a estrutura interna do abrigo desses animais e como eles exercem suas tarefas para a manutenção dos ecossistemas, além de como eles se alimentam. Após o filme foi realizado algumas perguntas a respeito de cenas do filme, para melhor fixar o conteúdo das atividades desses grupos no meio ambiente.

Quinta Etapa: Na quinta etapa foi desenvolvido o teatro dos insetos, com representação em 3d de cada grupo de insetos como, Abelhas, Borboletas, Formigas, Joaninhas, Gafanhotos, entre outros. Em seguida, durante e após a apresentação do teatro interativo foram partilhadas imagens dos ovos e fase de ninfa de alguns insetos comuns como: Joaninhas, Gafanhotos, Borboletas, Abelhas entre outros, além do seu ciclo de desenvolvimento. Essas atividades foram seguidas do jogo de perguntas e respostas com foco nas curiosidades e fatos de cada grupo de inseto exposto.

Resultados e Discussão

No primeiro encontro foi realizada uma palestra sobre os insetos e foi possível notar a curiosidades das crianças em relação aos insetos (Figura 1 A-B). Ao longo da aplicação do projeto foi perceptível a dificuldade de algumas crianças, em relação a identificar as letras do

alfabeto e os números. Nesse sentido, foi utilizado os insetos também como um meio de alfabetizá-las. A ludicidade e a infância estão conectadas. Após a palestra foi realizado um momento lúdico relacionando a morfologia e o comportamento com os respectivos insetos apresentados.

Figura 1: Conhecendo os insetos.



Fonte: Autor, 2024

Durante o segundo encontro, foram realizadas dinâmicas a partir do alfabeto dos insetos. Durante esta atividade foi possível observar que as crianças conseguiram identificar os insetos, e aprender a pronunciar as letras que constituem o nome de cada grupo. Durante a identificação dos grupos comuns conhecidos, surgiram algumas perguntas como: O que as borboletas comem? Os cupins tem boca?

Ao longo do desenvolvimento da brincadeira de adivinhar o som, foi possível notar uma empolgação e agitação das crianças ao ouvir o som de alguns insetos. Foi observado que as crianças conseguiram identificar qual bichinho era responsável por reproduzir o seu respectivo som. Na infância, a educação busca estabelecer vínculos afetivos e trocas entre adultos e crianças, desenvolvendo o lado comunicativo e interativo singular de cada um se baseando em relações interpessoais. Utilização de diversos métodos como: corporal, expressão facial para compreender e ser compreendido, as crianças expressam ideias, sentimentos, necessidades, desejos e aprimorando na construção de significados (Almeida, 2022). Através da música com passos de imitação dos insetos, as crianças demonstraram disposição e interesse em aprender a música, e notar interação positiva de todas as crianças com os coleguinhas (Canodo-Júnior *et al.*, 2021).

No terceiro encontro a partir do livro ciranda dos insetos foi apresentado às crianças os diversos locais que poderíamos encontrar

alguns grupos de insetos (até lugares bem inesperáveis), com auxílio do livro foi possível despertar o interesse das crianças a respeito desses locais (Figura 2 A, B, C). O livro contém uma gama de poemas sobre diversas ordens e insetos que temos contado no nosso cotidiano, além de ilustrações (Representando alguns cômodos de casa como a cozinha, quarto etc, e jardim). A linguagem literária utilizada em materiais de ensino da natureza é um facilitador no processo de aprendizagem, e a proximidade ao conhecimento científico no cotidiano da criança, gerando bons resultados. A leitura associada a brincadeiras são práticas que permitem às crianças além de interagirem com os colegas, proporciona o efeito positivo quanto ao estímulo da convivência em grupos e práticas sociais, com suas personalidades singulares, favorecendo a construção da concepção de infância, onde criança, infância e educação estão interconectados (Lima, 2023).

Figura 2: Leitura Ciranda dos insetos.



Fonte: Autor, 2024

No quarto encontro foi realizada a sessão de cinema, com o filme "Vida dos insetos". Ao decorrer do filme foi observado que as crianças ficaram bem animados com o trabalho dos insetos e sua força, além de abismados com o local onde eles vivem serem tão bem elaborados na parte interna (casa das formigas). O cinema na educação infantil é um instrumento que proporciona uma diversidade de vivências e reflexões para a infância. A proposta de atividades envolvendo cinema, contribui positivamente no desenvolvimento e aprendizagem das crianças, usada

não apenas para o lazer no ambiente escolar, como uma eficaz estratégia como meio de explorar o conteúdo apresentado a elas (Arruda *et al.*, 2022).

No quinto encontro durante a realização do teatro interativo dos insetos (Figura 3 A, B), foi possível reparar a inquietação das crianças quanto a participação tanto em querer tocar nas estruturas dos insetos 3d produzidos, quanto buscar entender através de indagações da função dos respectivos membros dos insetos durante suas atividades no ambiente. O teatro é um recurso notável no âmbito educativo, contribuindo no desenvolvimento da sensibilidade (sendo ela um conjunto de fenômenos como emoção, sentimento, empatia entre outros) e harmonia da criança, uma área importante na linguagem dos afetos, relacionando arte com educação. Nesse sentido, as atividades teatrais exploram o desenvolvimento de cada criança, tanto da criatividade de cada uma, quanto da formulação do seu próprio cenário (Ramos, 2013). O cuidado com as emoções no meio educacional permite que os educandos entendam o processo mútuo, com experiências individuais e com os colegas de sala, desmistificando conceitos rasos e incoerentes que comprometem o cultivo de conhecimento e o progresso não só na esfera escolar quanto no âmbito e relações sociais (Andrade, Andrade e Leal, 2019). Ao longo da apresentação do teatro interativo foram realizados jogos de perguntas e respostas para fixar as curiosidades a respeito dos grupos de insetos que foram abordados com as crianças, como exemplo: de onde vêm os insetos? Todos os insetos saem de ovos? Como é o formato dos ovos desses insetos? Como são as larvas dos insetos? Tais dúvidas foram sanadas ao decorrer da apresentação do teatro, usando como ferramentas imagens tanto os insetos 3d produzidos, como imagens exemplificando os diversos formatos dos ovos e ninfas de alguns grupos insetos.

Figura 3: Teatro com insetos.



Fonte: Autor, 2024

A linguagem teatral alinhada a jogos teatrais são ferramentas que contribuem para o aprendizado durante o processo de alfabetização. Nesse sentido, tais atividades auxiliam os pequenos na compreensão da realidade e do que ainda não tiveram contato, assumindo assim durante o processo, a desconstrução e reconstrução do saber próprio tal como ele é, na sua zona de desenvolvimento (Bauer e Pereira, 2021). Nesse sentido, os diferentes grupos de insetos utilizados como recursos lúdicos age elevando a importância do brincar e o aprender do âmbito artístico para a realidade tal como ela se apresenta, materializando assim a importância da coletividade e do trabalho em grupo.

Conclusão

- O projeto desenvolvido promoveu ensino de qualidade no desenvolvimento do público infanto;
- As brincadeiras e interações em grupo fortaleceram os laços sociais e desenvolveram habilidades de comunicação e colaboração;
- As atividades permitiram que cada criança expressasse suas capacidades e desenvolvesse seu potencial único;
- A abordagem sobre insetos despertou a curiosidade e o interesse das crianças, desmistificando ideias errôneas e promovendo o conhecimento sobre a importância desses animais para o meio ambiente.;
- Os insetos se mostraram um recurso eficaz para o ensino de diversos conceitos e o desenvolvimento de habilidades;
- Com este projeto sugere-se que mais ações como esta contemplem todos os CRAS do município de Caxias, para que as crianças em vulnerabilidade social possam ser beneficiadas com educação de qualidade, além de serem conscientizadas sobre questões ambientais.

Referências

ALMEIDA, Silvana Pereira, BRASILEIRO, Tânia Suely Azevedo. **O Cinema como Recurso Didático Pedagógico na Educação Infantil – Um Relato de Experiência**. Ensino de Ciências Humanidades. 1, jan-jun. p.189-254. 2022.

AMORIM, Bárbara Maria Ferreira Cauto. O uso dos insetos como ferramenta pedagógica para o ensino de ecologia a partir da visão Etnobiológica. Trabalho de Mestrado. Maceió-AL, 2020.

ANDRADE, Graciele, ANDRADE, Graciela Coelho e LEAL, Ana Lúcia. **Educação Emocianal do Ensino Infantil: perspectiva a partir do lúdico no teatro do oprimido de Augusto Boal.** São Luís. v 12, n1, p. 297-316..Revista Educação e Emancipação. Jan-Abr. 2019.

ARRUDA, Bernardinho Leônico *et al*. **Cinema na Educação Infantil**. Revista Ibero-Americana de humanidades e Educação-REASE. São Paulo, vol.8, n.9, Set. 2022.

BAUER, Rogério Luís e PEREIRA, Lídia Tagarro Costa. **Jogos teatrais na Educação**. Brazilian Journal of Development, Curitiba-PA. v7, n3, p. 16. Mar. 2021.

FRETAS, André Victor Lucci *et al*. Insetos como Indicadores de conservação da Paisagem. ResearchGate. Jan, 2016.

CANEDO – JÚNIOR, Ernesto de Oliveira, SILVA, Graziele Santiago, KORASAKI, Vanesca. Insetos na Educação um guia para professores. Campina Grande-PB, Vol. 1. Dez. 2021.

LIMA, Natália Florêncio da Silva. Significando a Leitura e a Escrita na Educação Infantil: Concepções e práticas pedagógicas. Natal-RN. Trabalho de conclusão de Curso-TCC. 2023.

RAMOS, Jorge Almilcar Spencer. **A contribuição e a Importância do teatro Na Educação Integral da Criança.** Instituto Politécnico de Viana do Castelo. p. 9-34. Set. 2013.

SILVA, Elidiomar Ribeiro, COELHO, Luci Boa Nova, PASSOS, Maria Inês da Silva. **Entomo Rio, III Simpósio de Entomologia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Jun, p.2-10. 2016.

SILVA, Jecilâine Efigênia *et al*. Percepção de alunos do ensino Fundamental sobre a conservação de insetos polinizadores e construção de um jardim floral. vol.5, n4, p.2520. Diversitas Journal. Santa Ipanema – AL. Out-Dez. 2020.

Práticas de educação ambiental para crianças e adolescentes em um centro de referência em assistência social

Deborah Costa de Sousa Santos [1], Pedro Kauê Oliveira de Sousa [2], Débora Thais Freitas Lima [3], Taynann de Sousa Silva [4], Luiza Daiana Araújo da Silva Formiga [5]

[1, 2, 3, 4] Graduandos em Ciências Biológicas – Licenciatura /UEMA (costadeborah584@gmail.com)[1], (pedrokaue650@gmail.com)[2], (deborathaisfreitaslima220@gmail.com)[3], (taynansousa445@gmail.com)[4]

[5] Professora do Curso de Ciências Biológicas – Licenciatura /UEMA (luizadaiana@hotmail.com)

Resumo: A Educação Ambiental surge a partir das necessidades de encontrarmos soluções para os problemas ambientais enfrentados. Sua finalidade é promover a consciência crítica sobre a importância do cuidado e preservação ao meio ambiente. Desta forma, é essencial abordar temas como esses com crianças e adolescentes, pois é nessa fase que podemos formar uma base sólida para a conscientização e responsabilidade para com o meio em que estão inseridos. Assim, o objetivo desse projeto foi implementar práticas de Educação Ambiental em um Centro de Referência em Assistência Social, as atividades foram direcionadas às crianças e adolescentes do Serviço de Convivência e Fortalecimento de Vínculos. O projeto foi realizado durante um ano, de novembro de 2023 a agosto de 2024, no CRAS do bairro Mutirão, localizado na cidade de Caxias, estado do Maranhão. O trabalho foi desenvolvido de acordo com as etapas estabelecidas, sendo elas: Produção de uma cartilha sobre Educação Ambiental, Palestras, Produção de Adubo Orgânico, Plantio de Hortaliças e Plantas Medicinais. Deste modo, o trabalho aplicado apresentou-se de maneira positiva ao analisar o envolvimento e compreensão das crianças e adolescentes durante as atividades.

Palavras-chave: Conscientização. Meio Ambiente. Preservação.

Environmental education practices for children and adolescents in a social assistance reference center

Abstract: Environmental Education arises from the need to find solutions to the environmental problems faced. Its purpose is to promote critical awareness about the importance of caring for and preserving the environment. Therefore, it is essential to address topics like these with children and adolescents, as it is at this stage that we can form a solid basis for awareness and responsibility towards the environment in which they are inserted. Thus, the objective of this project was to implement Environmental Education practices in a Reference

Center for Social Assistance, the activities were aimed at children and adolescents in the Coexistence and Strengthening of Bonds Service. The project was carried out for one year, from November 2023 to August 2024, at the CRAS in the Mutirão neighborhood, located in the city of Caxias, state of Maranhão. The work was developed in accordance with the established stages, which were: Production of a booklet on Environmental Education, Lectures, Production of Organic Fertilizer, Planting of Vegetables and Medicinal Plants. In this way, the applied work presented itself positively when analyzing the involvement and understanding of children and adolescents during the activities.

Key words: Awareness. Environment. Preservation.

Introdução

A educação ambiental emerge a partir da necessidade de solucionar os problemas ambientais ocasionados por este modelo de desenvolvimento econômico capitalista de natureza predatória e exploratória, portanto, insustentável (Arraes & Videira, 2019). Segundo Wenczenovicz & Zagonel (2021), as questões ambientais estão se tornando um tema central nos principais debates, tanto econômicos quanto sociais, e de modo crescente observa-se que muitos desses debates estão interligados com a degradação do meio natural.

A educação ambiental busca despertar nas pessoas o cuidado com o meio ambiente, assegurando seus direitos e responsabilidades para com o ambiente, sendo determinante para minimizar os impactos negativos decorrentes das ações antrópicas e promover a mudança de hábito (Teles *et al.*, 2021). Dispor de uma sociedade sustentável englobando os três pilares do desenvolvimento que são a economia, o social e o ambiental essenciais para resultados positivos do ensino e aprendizagem, estratégias que incorporam temas ambientais refletem em comportamentos ambientais corretos (Marques; Rios; Alves, 2022).

O Centro de Referência de Assistência Social (CRAS) é uma unidade do Sistema Único de Assistência Social (SUAS) que oferece serviços socioassistenciais de caráter protetivo, preventivo e proativo atuando como porta de entrada para serviços que visam prevenir situações de risco por meio do desenvolvimento de potencialidades e aquisições, ampliando o acesso dos usuários aos direitos de cidadania e minimizando as desigualdades sociais (Silva, 2015).

Sendo assim, executar programas envolvendo a temática educação ambiental trabalham a consciência de que todo cidadão tem o direito ao meio ambiente saudável, além de serem oportunidades para reflexão

sobre essa relação entre ser humano e natureza (Pereira & Guareschi, 2016). Diante disso, o projeto teve como objetivo desenvolver práticas de educação ambiental em um Centro de Referências em Assistência Social (CRAS), com crianças e adolescentes com idades variando entre 07 e 17 anos.

Metodologia

Caracterização da área de atuação

O CRAS do bairro Mutirão, localizado na cidade de Caxias – MA, foi criado com a finalidade de atender famílias em situação de vulnerabilidade social, como aquelas que enfrentam a ausência de renda ou têm acesso limitado aos serviços públicos. O referido CRAS foi implantado em novembro de 2005, tendo como território de abrangência os bairros Vila Paraíso, Castelo Branco, José Castro, Baixinha, Refinaria, Nova Caxias, Mutirão e João Viana.

Algumas das principais funções da instituição envolvem a defesa dos direitos da população, o atendimento psicossocial, a realização de visitas domiciliares e a promoção de atividades comunitárias. Além disso, a instituição implementa campanhas socioeducativas, efetua encaminhamentos para serviços públicos e oferece acompanhamento contínuo para as famílias atendidas.

Procedimentos Metodológicos

O público ao qual o projeto foi desenvolvido, são crianças e adolescentes do Serviço de Convivência e Fortalecimento de Vínculos, direcionado para idades entre 07 e 17 anos. Dessa forma, o projeto foi realizado ao longo de um ano, de novembro de 2023 a agosto de 2024. Foram elaborados materiais teóricos com assuntos necessários para a Educação Ambiental, assim como: seu contexto histórico, possíveis estratégias para superar desafios presentes e propostas de sustentabilidade que podem ser implementadas no CRAS, em casa, na comunidade, na cidade, entre outros.

Foi realizado um contato prévio com a coordenação do CRAS para discutir a implementação do projeto e apresentar os objetivos, metodologias e cronograma de execução. A instituição escolhida foi o CRAS do bairro Mutirão, pois o ambiente apresentava a necessidade de práticas sustentáveis voltadas à educação ambiental.

Etapas do Projeto

Primeira etapa: Elaboração de cartilhas

Foram conduzidas aulas expositivas e dialogadas, com temas voltados para a importância da prática de Educação Ambiental. Além disso, aconteceram dinâmicas e atividades relacionadas ao tema do projeto, como pinturas, desenhos, dinâmicas e jogos educativos.

Segunda etapa: Produção de Adubo Orgânico

Realizou-se uma abordagem introdutória do tema "Resíduo Orgânico", a partir da exposição de resíduos alimentares produzidos em escolas, casas e empresas. Após a palestra, cada participante montou sua própria composteira, utilizando bagaço de frutas, verduras, legumes, entre outros alimentos. Para a produção das composteiras utilizou-se garrafas PET, tesoura, TNT, ligas, fita adesiva, tampas e estilete.

Terceira etapa: Plantio de Hortaliças e Plantas Medicinais

Foi realizada uma atividade prática com as crianças e adolescentes, focada no plantio de sementes de hortaliças e plantas medicinais. Durante a atividade, foi utilizado o adubo orgânico produzido na etapa anterior, juntamente com outros materiais, como terra preta, areia, sementes (cebolinha, alface e tomate), além de mudas de plantas (babosa e malva do reino). Também foram utilizadas garrafas PET, pá de jardinagem e regador para o desenvolvimento do plantio.

A avaliação dos objetivos propostos no projeto foi realizada de maneira qualitativa, com base nas percepções e comportamentos das crianças e adolescentes ao longo das etapas do projeto, através da participação ativa, interesse demonstrado nas palestras, o entusiasmo nas dinâmicas e a dedicação nas atividades práticas.

Resultados e Discussão

A primeira atividade do projeto ocorreu com a apresentação de uma palestra sobre Educação Ambiental (Figura 1 A), contemplando subtemas como: reciclagem, poluição, desmatamento, meio ambiente, resíduos sólidos e conscientização sustentável. Ao final, foram distribuídas cartilhas com informações relevantes ao tema proposto pelo projeto (Figura 1 B e C). Nesse encontro, foi reunido o total de 22 participantes, resultando em uma experiência bastante proveitosa, já que todos participaram da palestra e atividade prevista.

Figura 1 – Apresentação de palestra (A), cartilha (B e C) e dinâmica (D).



Fonte: Autor, 2024.

Segundo Santos & Candido (2023), destacam em seu trabalho que o propósito da Educação Ambiental é contribuir para a conscientização das pessoas sobre as necessidades de preservação do Meio Ambiente, promovendo mudanças na forma de pensar e agir. Em razão disso, a aula exposta trouxe um impacto positivo no processo de aprendizagem dos ouvintes, viabilizando a conscientização e mudanças de comportamentos na comunidade em que estão inseridos. Desse modo, para estimular os participantes, foi realizada uma atividade que consistia em um jogo com perguntas e respostas, onde os integrantes foram divididos em duas equipes (Figura 1 D), durante a dinâmica, foram feitas perguntas relacionadas ao conteúdo ministrado. Lourenço & Pereira (2022), sugerem o uso de brincadeiras e atividades lúdicas como método de ensino, pois contribuem de forma efetiva para a construção do conhecimento.

Posteriormente, foi realizada uma segunda palestra abordando o tema “Resíduo Orgânico”, para aprimorar a compreensão do assunto, a exposição contou com o auxílio de slides (Figura 2 A). Após isso, aplicou-se uma atividade para as crianças e adolescentes colorirem e diferenciarem os resíduos orgânicos de inorgânicos (Figura 2 B-D).

Figura 2 – Apresentação de palestra (A) e atividade para colorir e diferenciar os resíduos orgânicos dos inorgânicos (Figura B-D).



Fonte: Autor, 2024.

No terceiro dia de palestra, foi realizada uma apresentação com o tema “Desmatamento”, abordado por meio da apresentação de slides (Figura 3 A). Durante a palestra, todos os participantes estiveram envolvidos, contribuindo com suas opiniões e relatos. Ademais, foi realizada uma atividade educativa, onde as crianças e adolescentes pintaram uma árvore (Figura 3 B-D) com o intuito de demonstrar, através da pintura a importância em contribuir para a preservação da natureza. De acordo com Silva *et al.*, (2024), é fundamental integrar práticas de preservação ambiental ao processo educacional, para fomentar ações de arborização que conscientizem as pessoas sobre a necessidade de todos no processo de recuperação de matas e florestas. Portanto, investir na prática de educação ambiental para crianças e adolescentes os prepara para se tornarem adultos conscientes e capazes de contribuir na resolução de problemas ambientais.

Figura 3 – Apresentação de palestra (A) e atividade para colorir e sensibilizar (B-D).



Fonte: Autor, 2024.

Para a produção de adubo orgânico, iniciou-se uma palestra sobre "Compostagem" (Figura 4 A), para que as crianças e adolescentes pudessem compreender o que é, para que serve e como se produz as composteiras. Em seguida, cada participante montou sua própria composteira utilizando terra preta, resíduos orgânicos e terra disponível no solo do próprio local (Figura 4 B-D). Fontes *et al.*, (2021) afirmam que a combinação entre Educação Ambiental e Compostagem não só contribuem para o poder público no gerenciamento dos resíduos, mas também desempenham um papel fundamental na melhoria da qualidade de vida dos participantes, na saúde pública e no equilíbrio ecológico. Assim, atividades de compostagem colaboram para com o gerenciamento adequado dos resíduos gerados em residências, escolas e empresas.

Figura 4 – Apresentação de palestra (A), participação das crianças e adolescentes na montagem e finalização das composteiras (B-D).



Fonte: Autor, 2024.

Na terceira etapa, foi construído um canteiro para o cultivo de hortaliças e plantas medicinais, utilizando garrafas PET, barbante e um pallet (Figura 5 A). Em seguida, após revisar o processo de preparo do adubo orgânico e montagem das composteiras, iniciou-se um diálogo sobre a importância dos vegetais. Posteriormente, todos os participantes envolveram-se ativamente no plantio de hortaliças e plantas medicinais, utilizando o adubo orgânico produzido na etapa anterior (Figura 5 B-D). Atividades como essa, são essenciais para promover o contato das crianças com o meio ambiente. Segundo Rodrigues *et al.*, (2023), com o desenvolvimento do capitalismo e da tecnologia, a população está cada vez mais envolvida no mundo virtual e restrita a condomínios, afastando-se dos ambientes naturais e dos benefícios que eles oferecem para a qualidade do ar, paisagem e saúde.

Figura 5 – Construção do canteiro (A), adubo produzido nas composteiras (B), e realização do plantio (C e D).



Fonte: Autor, 2024

Conclusão

A implementação do projeto mostrou-se eficaz ao incentivar a sustentabilidade e responsabilidade ambiental entre crianças e adolescentes. Dessa forma, conclui-se que o conhecimento adquirido por meio de palestras e atividades práticas, mostraram-se eficientes. Promovendo de forma lúdica o envolvimento de todos, durante atitudes voltadas ao cuidado e preservação ao ambiente em que estão inseridos. Como resultado, os objetivos estabelecidos foram atingidos, ao observar mudanças

significativas no comportamento, percepção ambiental e trabalho em equipe. Logo, a participação ativa das crianças e adolescentes durante a execução do projeto comprovou o desenvolvimento da conscientização ambiental, destacando a importância de incluir a educação ambiental desde a infância para formar adultos responsáveis. Esses resultados abrem a possibilidade de expansão do trabalho desenvolvido para outros CRAS, envolvendo a equipe técnica da instituição, as famílias e a comunidade, garantindo assim a continuidade do projeto.

Referências

ARRAES, Maria Cleide Gualter Alencar; VIDEIRA, Márcia Cristina Moraes Cotas. **Breve histórico da Educação Ambiental no Brasil/Brief History of Environmental Education in Brazil.** ID on line. Revista de psicologia, v. 13, n. 46, p. 101-118, 2019.

FONTES, Karen Dayana de Souza Andrade *et al*. **A compostagem como instrumento de educação ambiental em escolas do Município de João Monlevade–MG.** Research, Society and Development, v. 10, n. 10, p. e410101018863-e410101018863, 2021.

LOURENÇO, Lívia Eduarda; PEREIRA, Silvanis dos Reis Borges. O lúdico e o brincar como forma de aprendizagem para crianças e adolescentes vulneráveis às situações ambientais e sociais. Revista Extensão, v. 6, n. 4, p. 52-60, 2022.

MARQUES, Welington Ribeiro Aquino; RIOS, Diego Lisboa; ALVES, Kerley dos Santos. **A percepção ambiental na aplicação da Educação Ambiental em escolas.** Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 17, n. 2, p. 527-545, 2022.

PEREIRA, Vinicius Tonollier; GUARESCHI, Pedrinho Arcides. **O CRAS em relação: profissionais e usuários (as) em movimento.** Fractal: revista de Psicologia, v. 28, n. 1, p. 102 110, 2016.

RODRIGUES, Ana Beatriz Almeida *et al*. A importância da arborização urbana: a percepção de crianças no bairro de Santa Terezinha. Educação Ambiental em Ação, v. 20, n. 82, 2023.

SANTOS, Flávio Reis; CÂNDIDO, Cristiane Raquel Ferreira. A percepção sobre meio ambiente e Educação Ambiental na prática docente das professoras das escolas municipais rurais de Morrinhos, GO. Interações (Campo Grande), v. 24, n. 1, p. 175-191, 2023.

SILVA, Chris Giselle Pegas Pereira. **A questão ambiental e a participação: o serviço de proteçãointegralàsfamíliasdocrasemação.**2015.Disponívelem: https://www.uel.br/pos/mestradoservicosocial/congresso/anais/Trabalhos/eixo9/oral/11_a_questao_ambiental.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2025.

SILVA, Yara Ferreira da *et al.* **A arborização como ferramenta de Educação Ambiental: estudo de caso em uma escola de educação infantil.** REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 41, n. 1, p. 153-173, 2024.

TELES, Ana Paula Silva *et al*. Práticas de educação ambiental em um centro de referência em assistência social (CRAS). Revista Conexão UEPG, v. 17, n. 1, p. 1-14, 2021.

WENCZENOVICZ, Thaís Janaina; ZAGONEL, Juliane Maria. **Educação ambiental no contexto escolar: Projetos ambientais de escolas públicas estaduais da 15ª CRE de Erechim/RS.** Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental, v. 26, n. 1, p. 409-429, 2021.

Saúde e agroecologia: impactos na qualidade de vida de agricultores familiares na região sul de Santa Catarina

Ana Paula de Matos, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Daniel Pazini Pezente, Eduardo Fernandes Martinello, Simoni Daminelli Vieira
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC

Resumo: O presente estudo investiga as condições de saúde de agricultores familiares que adotam sistemas agroecológicos na região sul de Santa Catarina. A pesquisa incluiu 29 indivíduos de 9 propriedades certificadas pela Rede de Agroecologia EcoVida, nos municípios de Criciúma e Içara. Foram aplicados questionários e realizadas visitas guiadas para avaliar a auto percepção de saúde, considerando aspectos demográficos, socioeconômicos e morbidades. Os resultados revelam uma significativa melhora na qualidade de vida após a transição para a agroecologia, com mais de 75% dos participantes relatando saúde boa ou muito boa. Antes da mudança, prevaleciam percepções negativas de saúde associadas ao uso intensivo de agrotóxicos e métodos convencionais de produção. As mulheres desempenharam papel crucial na transição, motivadas pela preocupação com a saúde familiar. Contudo, problemas como doenças da coluna, artrite e depressão ainda persistem, especialmente entre aqueles com histórico de uso de agrotóxicos e trabalho agrícola intensivo. A pesquisa destaca a importância da agroecologia para a sustentabilidade ambiental, saúde pública e permanência no meio rural. Além disso, aponta a necessidade de políticas públicas para fortalecer práticas agroecológicas, reduzir impactos no trabalho agrícola e incentivar a mecanização. Este estudo contribui para o entendimento dos benefícios e desafios da agroecologia, servindo como base para ações de apoio aos agricultores e à promoção de sistemas alimentares mais justos e sustentáveis.

Palavras-chave: Segurança no Trabalho Rural, Políticas Públicas, Saúde do Trabalhador Rural.

Health and agroecology: impacts on the quality of life of family farmers in southern Santa Catarina

Abstract: This study investigates the health conditions of family farmers adopting agroecological systems in southern Santa Catarina. The research involved 29 individuals from 9 certified properties linked to the EcoVida Agroecology Network, located in the municipalities of Criciúma and Içara. Questionnaires were applied, and guided visits were conducted to evaluate self-perceived health, considering demographic, socioeconomic, and morbidity aspects. The results reveal a significant improvement in quality of life after the transition to agroecology, with over 75% of participants reporting good or

very good health. Before the change, negative health perceptions prevailed, associated with intensive pesticideuse and conventional production methods. Women played a key role in the transition, driven by concerns about family health. However, issues such as back problems, arthritis, and depression persist, particularly among those with a history of pesticide exposure and intensive agricultural work. The study underscores the importance of agroecology for environmental sustainability, public health, and rural retention. Moreover, it highlights the need for public policies to strengthen agroecological practices, reduce agricultural labor impacts, and encourage mechanization. This research contributes to understanding the benefits and challenges of agroecology, serving as a basis for initiatives supporting farmers and promoting fairer and more sustainable food systems.

Key words: Agroecology, Rural Health, Sustainability.

Introdução

Atualmente, as questões relacionadas ao meio ambiente, alimentação saudável, políticas públicas, preço justo, desenvolvimento econômico, economia solidária e qualidade de vida tem se tornado importantes temas de discussão na sociedade. Conforme Caminhas (2022), as discussões em torno da alimentação saudável ganham impulso a partir da consolidação do processo de globalização da produção e distribuição dos alimentos, consolidadas por grandes empresas multinacionais, em especial a partir da segunda metade do século passado com a chamada "Revolução Verde". À época da referida revolução, Carson (2010) já denunciava os seus efeitos nefastos à saúde do humano e do ambiente. Ainda, conforme Cerqueira et al, (2018), outros elementos passam a impulsionar a problemática sociológica dos alimentos, se destacando as questões relacionadas à saúde pública, problemas ambientais decorrentes da produção agrícola, e o crescente desperdício de alimentos pelos grandes centros.

Dessa maneira, aspectos como território, alimentação saudável, impactos da agricultura nos ecossistemas, agricultura familiar, conservação dos recursos naturais e qualidade de vida ganham destaque. Segundo Pezente (2017), esses são desafios significativos que demandam novas abordagem, promovendo práticas de manejo agrícola embasados em tecnologias sustentáveis, substituindo as formas convencionais hegemônicas, que predominam na produção agrícola mundial. Ainda, conforme Laje et al, (2020) estas formas convencionais, que dominam a agricultura, têm como objetivo maximizar a produção e o

lucro imediato, desconsiderando aspectos relacionados à saberes tradicionais, pensamento de longo prazo e sustentabilidade agrícola.

De acordo com Moura et.al. (2022) o estudo das relações de consumo, dos sistemas de produção agroalimentares e a saúde da população é fundamental para a compreensão do comportamento e das ações dos indivíduos na sociedade moderna. O ato de comer é, por si só, uma ação social e tem capacidade de gerar novos valores e modos de vida sustentáveis. Para Sauvé (2016) e Boff (2014), comer, vestir-se e respirar são intrínsecos da relação humano-cultura-natureza como algo único, dispostos na Casa Comum. Desta forma, a relação entre as formas de produção/comercialização dos alimentos e os modos de consumir e alimentar são fundamentais para desenvolver práticas sustentáveis, seja na produção ou no consumo.

Atualmente, a elevada quantidade de fertilizantes químicos e agrotóxicos tem causado poluição de cursos d'água, lençóis freáticos, solos, vegetação e agricultores em todo o mundo, com sérias consequências ecológicas e sanitárias (Morin, 2013; Bombardi, 2017). A saúde pública e a pesquisa ecológica têm revelado, cada vez mais, problemas com o uso de pesticidas, que são tóxicos para os seres humanos e animais silvestres e perturbadores dos ecossistemas naturais (Robson; Hamilton, 2010).

No Brasil, segundo Porto (2018), o tema agrotóxico ganhou destaque nacional em 2008, a partir do momento que o país se tornou o líder no ranking mundial de consumo. Ainda, conforme IBAMA (2024), foram consumidos em 2022 um total de 800.652 toneladas de ingredientes ativos de agrotóxicos no país, com um aumento de 61,5% nos últimos 10 anos. Ainda, segundo Bombardi (2017) diversos destes agrotóxicos consumidos no Brasil apresentam indícios de carcinogenicidade, e são utilizados em concentrações maiores do que as permitidas em países "desenvolvidos", como é o caso da União Europeia e dos Estados Unidos da América. A contaminação por esses agrotóxicos atinge, em especial, populações mais vulneráveis como povos e comunidades tradicionais, mulheres, crianças e idosos, seja pela aspersão por deriva dos mesmos, ou pela contaminação da água, do solo e dos alimentos.

De acordo com Moura *et al.* (2022), o reconhecimento que a saúde está intrinsicamente ligada às dimensões sociais, ecológicas, culturais e espirituais impulsionou a área de saúde e ambiente. Esse avanço promoveu a interação das universidades com questões socioeconômicas,

conflitos ambientais e movimentos sociais. No âmbito agrícola, esses movimentos são representados por camponeses, agricultores familiares, indígenas, quilombolas, extrativistas, pescadores artesanais, entre outros. Convergentes a estes movimentos, nas cidades há movimentos de consumo consciente, alimentação saudável, agricultura urbana e feiras agroecológicas, somados à pesquisas científicas que buscam o desenvolvimento e o fortalecimentos da agricultura de base ecológica, tanto no campo quanto na cidade.

A saúde dos trabalhadores rurais também é condicionada pelos fatores sociais, econômicos, tecnológicos e organizacionais que, segundo Moreira et. al. (2017), se relaciona com o perfil de produção e consumo, bem como com fatores de risco de natureza física, química, biológica, mecânica e ergonômica presente nos processos e ambientes de trabalho. Assim, atividades agrícolas agroecológicas podem reduzir drasticamente a ocorrência de doenças crônicas, desencadeadas por agentes químicos. No entanto, há uma escassez de estudos que retratem as condições gerais do trabalho rural no Brasil, sobretudo na agricultura familiar. Conforme Moreira et. al. (2015), tem se observado que não somente os agrotóxicos, mas também a exposição à ruídos, maquinários, atividades braçais pesadas, e outros inerentes ao trabalho agrícola podem afetar severamente a saúde do trabalhador rural.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar as condições de saúde de indivíduos com ocupação agrícola familiar de base agroecológica, considerando as problemáticas físicas e químicas da atividade. A análise é fundamentada na autopercepção da saúde e da qualidade de vida dos trabalhadores rurais agroecológicos na região carbonífera de Santa Catarina.

Metodologia

Foram pesquisadas as famílias de agricultores que trabalham com sistemas agroecológicos, com certificação orgânica, vinculados à Rede de Agroecologia EcoVida, nos territórios dos municípios de Criciúma e Içara. Assim, visitou-se 9 propriedades rurais, nas quais foram aplicados questionários e realizados caminhamentos pelas propriedades, juntamente com as famílias, totalizando 29 pessoas avaliadas.

Os agricultores foram estratificados pelo gênero, idade, renda e nível de escolaridade. Além disso, considerando as 11 morbidades referenciadas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD),

foram agrupados em 5 categorias de análise de auto percepção: grupo 1 para condição de saúde "muito boa", grupo 2 para condição "boa", grupo 3 para "regular", grupo 4 para "ruim" e grupo 5 para condição "muito ruim".

As principais morbidades mencionadas também foram avaliadas e quantificadas para uma análise detalhada. Acreditando-se que os trabalhadores rurais homens e mulheres reagem diferente perante os problemas de saúde e do ambiente, as análises para autopercepção de saúde foram controladas pela variável gênero, bem como suas interpretações.

Resultados e Discussões

O levantamento das informações demográficas (Tabela 1) das famílias agroecológicas, revela que prevalece nas propriedades rurais do grupo estudado, o gênero masculino, sendo que esta informação corrobora com informações proferidas pelos agricultores, durante as entrevistas, em que retalaram que o trabalho pesado os faz direcionar suas filhas para a cidade, onde encontram atividades menos exaustivas. A dona "Laura" (nome fictício), da propriedade 7, diz: "Aqui o trabalho é muito difícil, pesado e o lucro é muito baixo. Ai agente não quer isso para nossas filhas...". Este relato evidencia a perda da identidade pelo espaço geográfico, visto que, segundo Raffestin (1993), território é mais que espaço geográfico, é o que nos liga ao mundo. Isso traz uma grave preocupação, pois observa-se uma tendência de migração para os centros urbanos em busca de supostas melhores condições de trabalho, podendo impactar na continuidade de práticas agroecológicas na região.

Tabela 1 – Distribuição das características demográficas e socioeconômicas dos trabalhadores rurais agroecológicos.

Características das famílias	**Ocupação agrícola**		
	Sim %	**Não %**	**Total %**
Sexo			
Masculino	61,1	38,9	62,07
Feminino	72,72	27,28	37,93
Faixa etária			
18 – 39	41,66	58,34	41,38
40 – 59	90	10	34,49

> 60	71,43	28,57	24,13
Faixa de rendimento (salário mínimo)			
< de 1	80	20	34,48
1 a 5	55,56	44,44	62,06
> 5	100	0	3,46
Graus de escolaridade			
Sem instrução ou menos de 1 ano	100	0	20,69
1 a 7 anos	73,33	26,67	51,73
>8 anos	25	75	27,58

Fonte: Os autores, 2017.

Ao observar a faixa etária da população, é possível constatar que mais de 75% da população se encontra em idade economicamente ativa. No entanto, entre a população de jovens, prevalece aquele que apenas moram na propriedade e a sua renda é obtida de fontes não agrícolas. É importante destacar ainda que a população com idade entre 40 e 59 anos se concentra, quase que na totalidade, na atividade agrícola. O mesmo acontece com a população com idade superior a 60 anos, evidenciando que entre os mais velhos existe uma forte tendência à permanência no campo.

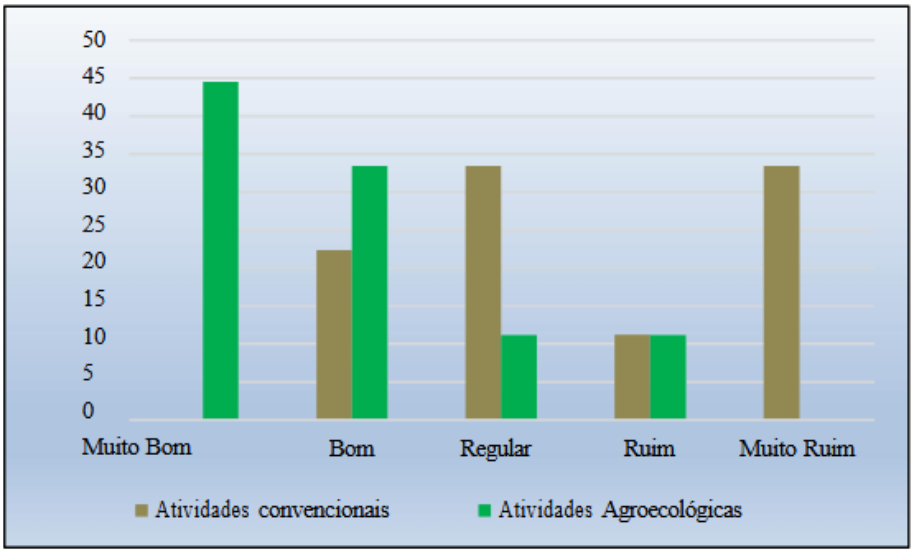
Na propriedade 3, o senhor "Roberto" cita que "...quando nós plantávamos fumo, nos dias de colheita, a gente passava mal, muito mal. Colhíamos fumo o dia todo e a noite ia na farmácia vomitando uma água branca. Tomava um remédio pra enjoo e no outro dia estava bom pra colher novamente...". Ainda, na propriedade 7, o senhor "Ricardo" mostra seus laudos médicos atestando perda total da visão no olho esquerdo e que, segundo o mesmo, é oriundo de um câncer o qual atribui ao uso de agrotóxicos durante a juventude. Em decorrência de outras histórias de doenças nas famílias, poucos incentivam os jovens a permanecerem na lavoura, seja pela alta demanda física para o trabalho, ou pelo trauma, mesmo estando agora trabalhando com um sistema agroecológico.

Esta informação é validada quando observamos o nível de escolaridade dos membros do familiar, sendo que entre aqueles que possuem curso superior, ou seja, com mais de 8 anos de estudos, 75% não exercem atividades agrícolas. No outro extremo aqueles que tem menos de

5 anos de estudos, que representam mais de 70% do grupo, estão quase na totalidade inseridos nas atividades agrícolas agroecológicas. A dona "Josefa", da propriedade 2, comenta que "...a gente não pôde estudar, porque nossos pais não deixavam, tínhamos que ajudar no trabalho na lavoura, então hoje a gente tem que aceitar o trabalho pesado. Mas agora com o orgânico a gente está muito feliz...". Importante destacar que, apesar das lamentações do passado, as famílias se mostraram felizes e satisfeitas com o modelo de produção sustentável.

A figura 1 apresenta a autopercepção de saúde dos trabalhadores rurais, agrupadas em 5 categorias. A análise compara as condições de vida dos entrevistados antes do cultivo agroecológico, período em que todos trabalhavam em atividades agrícolas convencionais, com a situação atual em que estão envolvidos com a produção agroecológica.

Figura 1 – Auto percepção da saúde dos trabalhadores rurais agroecológicos.



Fonte: Os autores, 2017.

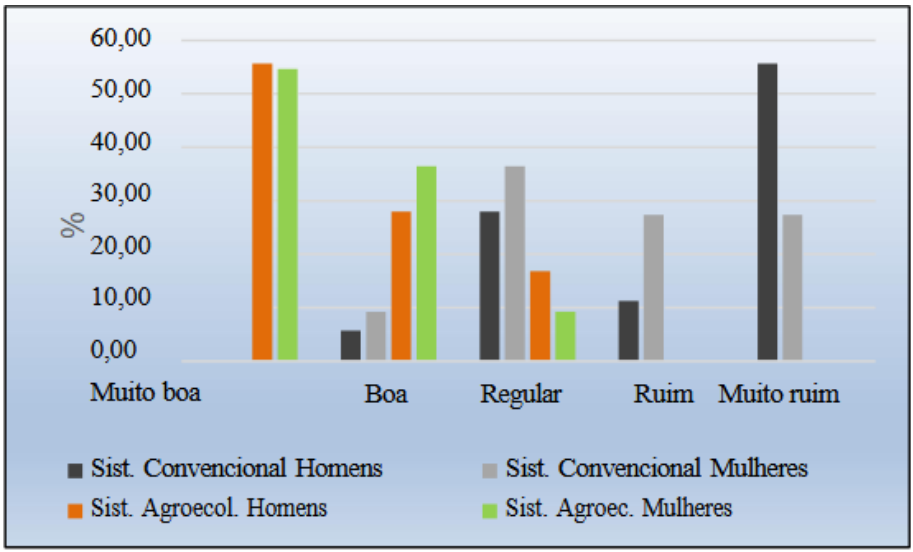
Desta forma, verifica-se que a maioria da população relata ter saúde boa e muito boa após o início das atividades agroecológicas, somando mais de 75% com esta percepção. Em nenhuma propriedade foi constatado uma condição 'muito ruim' de saúde. O contrário pode ser observado em relação às atividades agrícolas convencionais, relativas à vida que passou, onde a auto percepção de saúde da família prevalece o

‘muito ruim’ e ‘regular’, não apresentando respostas para a percepção de “muito bom”.

Em relação a auto percepção da saúde conforme o gênero, evidencia-se que as mulheres têm uma opinião semelhante aos homens, quando se fala do sistema agroecológico. No entanto, sobre o sistema convencional, nota-se que os homens têm uma percepção de má qualidade da saúde muito maior que as mulheres (Figura 2).

Durante as entrevistas foi possível constatar a importância da mulher para a conversão da família para o sistema de produção agroecológica e sua preocupação com a saúde da família. Em 77% das propriedades a mulher teve papel decisivo para esta transição. Na propriedade 2, por exemplo, a senhora “Josefa” faz o seguinte comentário: “...eu sempre sonhei em trabalhar sem veneno, porque eu não queria prejudicar meus filhos. Ai eu comecei a plantar alface sozinha, meu marido nunca me ajudou. Hoje eu consegui convencer meus dois filhos, e eles me apoiam na produção orgânica”. Ainda, a dona “Graziela”, da propriedade 9, comenta que considera importante o seu trabalho de produção de pitaya orgânica, pois ela vende para as escolas e sabe que os alunos estão comendo um produto de boa qualidade.

Figura 2: Auto percepção da saúde dos trabalhadores rurais agroecológicos, conforme o gênero.



Fonte: Os autores.

Ao avaliar os relatos de doenças existentes, ou que já foram curadas, entre os agricultores se destaca problemas relacionados à coluna vertebral, artrite e reumatismo, sendo que estas somam mais de 50% de ocorrência nos homens e mais de 80% entre as mulheres (Tabela 2).

Tabela 2: Doenças relatadas pelos trabalhadores rurais agroecológicos.

	Homens (%)	**Mulheres (%)**
Doença da coluna	44,44	45,45
Artrite ou reumatismo	11,11	36,36
Câncer	0	9,09
Diabetes	16,67	36,36
Bronquite ou asma	22,22	9,09
Hipertensão arterial	11,11	18,18
Doença do coração	0	9,09
Depressão	27,78	54,55

Fonte: Os autores.

Outros problemas evidentes são o alto índice de diabetes entre as mulheres e a depressão, que acomete praticamente todas as famílias com pelo menos 1 membro delas. Estes sérios problemas, principalmente nas doenças da coluna e a depressão, são atrivuídos pelos próprios agricultores à alta exposição à agrotóxicos e contaminantes, durante um grande período de suas vidas em que trabalharam com a agricultura convencional. Resultados similares foram encontrados por Pereira et.al. (2024) em estudo realizado com agricultores familiares em Araçatuba – SP.

No relato do senhor “Mauro”, da propriedade 6, é possível identificar esse pensamento no qual culpa os agrotóxicos por seus problemas de saúde “...quando nós era pequeno, com 9 anos, meu pai já mandava trabalhar na roça, passando veneno no fumo, descalço, sem EPI. Ai hoje a gente tem esses problemas de saúde...”. Ainda, o produtor “Ricardo”, da propriedade 7, alega que seus problemas de coluna o debilitam para o trabalho hoje em dia, e isso foi fruto da sua falta de cuidado enquanto era novo, carregando insumos muito pesados (adubos, alimentação animal, entre outros) por longas distancias, devido à falta de maquinário para o transporte.

Estes resultados corroboram com estudos mundiais, em que se constatam problemas de saúde semelhantes entre agricultores. De

acordo com Notkola et. al. (1992), na Finlandia encontra-se grandes quantidades de doenças crônicas entre os agricultores, sendo cerca de 40% em doenças musculo esqueléticas, cardiovasculares e respiratórias. Na Coréia do Sul, conforme Lee et. al. (2010), prevalece entre os agricultores doenças de artrite, artrose e problemas de coluna, câncer e catarata/glaucoma.

Conclusões

A agricultura é reconhecidamente essencial para o Brasil, apresentando grande potencial de expansão, com a agroecologia se destacando como uma alternativa viável para uma produção mais limpa, justa e sustentável, especialmente em estados como Santa Catarina, que apresentam predominância da agricultura de base familiar.

O desenvolvimento de atividades agrícolas agroecológicas, tem uma importância que supera os aspectos econômicos, afetando diretamente as dimensões sociais, políticas, culturais, ambientais e de saúde do trabalhador. Esse modelo de produção, reconecta o ser humano ao mundo natural, criando um senso de pertencimento ao território e promovendo uma relação mais harmônica com o meio ambiente.

Com os dados obtidos nesta pesquisa, constatou-se uma melhora significativa na qualidade da saúde dos agricultores após a transição agroecológica. Apesar de alguns trabalhadores ainda apresentarem problemas de saúde adquiridos durante o período de cultivo convencional, observou-se uma elevada satisfação com o modelo agroecológico. Esse modelo não apenas demonstrou relevância social, mas também contribuiu para a redução dos impactos negativos da agricultura sobre a saúde humana e o meio ambiente.

No entanto, a incidencia de problemas de saúde relacionados ao esqueleto, como doenças da coluna, artrite e artrose, são ainda diagnosticados entre os agricultores, sendo frequentemente atribuídos à falta de mecanização agrícola, onde prevalece o uso da força braçal para realização das atividades.

Os resultados deste estudo abrem importantes caminhos para sua continuidade e expansão. Considerando os impactos positivos da agroecologia sobre a saúde e qualidade de vida dos agricultores familiares, é possível propor desdobramentos que ampliem a abrangência geográfica

do estudo, incluindo outras microrregiões de Santa Catarina e do sul do Brasil, onde a agricultura familiar é predominante.

Além disso, os dados coletados oferecem subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da agroecologia, como o incentivo à mecanização de pequena escala, a assistência técnica especializada e a ampliação de programas de compras institucionais de alimentos orgânicos. A continuidade da pesquisa também pode se dar por meio de estudos longitudinais que acompanhem a evolução da saúde dos agricultores ao longo dos anos e avaliem o impacto de novas práticas agroecológicas, contribuindo para a consolidação de um modelo agrícola sustentável e integrado às demandas sociais e ambientais contemporâneas.

Referências

BOFF, L. Ética e moral: a busca dos fundamentos. Petrópolis – RJ: Vozes, 2014.

CAMINHAS, A. M. T. Agroecological fairs, food safety and female protagonism in family farming productive backyards: contribution to the practice of the 2030 agenda. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n.1, p. 4184-4200, 2022. DOI: https://doi.org/10.18764/2446- 6549.e202013.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Disponível em https:// www.gov.br/ibama/pt- br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos. Acesso em 18 de janeiro de 2024.

LAGE, M. F. R.; ASSIS, R. L. de AQUINO, A. M. de. Diagnóstico das feiras de produtos orgânicos e seus consumidores em Belo Horizonte. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.37, n.1, p.1-16, 2020.

LEE W.J., CHA E.S., MOON E.K. Disease prevalence and mortality among agricultural workers in Korea J Korean. **Med Sci** 2010.

MOREIRA, J.P.L.; OLIVEIRA, B.L.C.A de; MUZI, C.D.; CUNHA, C.L.F.; BRITO, A.S.; LUIZ, R.R. A saúde dos trabalhadores da atividade rural no Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 31(8):1698-1708, ago, 2015.

MORIN, E. **A Via para o futuro da humanidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 392p. MOURA, D. A.; SOARES, J. P. G.; REIS, S. A.; FARIAS, L. F. Agricultura orgânica: impactos ambientais, sociais, econômicos e na saúde humana. COLÓQUIO – Revista do Desenvolvimento Regional, v. 19, n. 1, jan./mar., 2022.

NOTKOLA V., HUSMAN K.R., SUSITAIVAL P., TAATTOLA K. Morbidity and risk factors of Finnish farmers. **Scand J Work Environ Health** 1992.

PEREIRA, F.C.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; BAPTISTA, R. D.. Níveis de estresse em agricultores familiares: um estudo no município de Araçatuba-SP. **Revista**

em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v. 17, n. 4, e11450, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024v17n4e11450.

PEZENTE, D.P. **Estudo de indicadores de sustentabilidade em propriedades familiares agroecológicas na região sul do estado de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado), 191pg – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2017.

PORTO, M.F.S. O trágico Pacote do Veneno: lições para a sociedade e a Saúde Coletiva. **Cad. Saúde Pública** vol.34 no.7 Rio de Janeiro 2018.

RAFFESTIN, C. **Por uma Geografia do Poder**. São Paulo: Ática, 1993.

ROBSON, M.; HAMILTON. G. C. Control de Plagas y Pesticidas. In: FRUMKIM, H. (Ed.) ***Salud Ambiental de lo global a lo Local***. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud, 2010. p.593-632.

SAUVÉ, L. Viver juntos em nossa terra: desafios contemporâneos da educação ambiental. **Revista Contrapontos**, Itajaí, v. 16, n. 2, p. 288-299, 2016.

Síntese de adsorventes catalíticos a partir de resíduos sólidos da fiação de algodão

Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro, Jaqueline Elisabete Savoia, Giovana Genari Carmona, Rubiane Ganascim Marques
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Apucarana (valquiria@utfpr.edu.br)

Resumo: As indústrias têxteis enfrentam desafios significativos devido à geração de resíduos em todo o processo produtivo, seja pela geração de resíduos sólidos, ou pelo elevado volume de efluentes gerados. O impacto ambiental é agravado pelo uso de corantes. O presente trabalho, propõe uma abordagem sustentável, visando o aproveitamento de resíduos sólidos provenientes do processo de fiação da fibra de algodão, aplicados à remoção de corantes no tratamento de efluentes. A síntese de carvão ativado (CA) foi realizada por meio de ativação com H_3PO_4 e incorporação do TiO2, combinada com o processo de ultrassom, pirolise. Os materiais adsorventes foram submetidos em testes de fotocatálise e adsorção, utilizando corantes dispersos. Os resultados dos ensaios mostraram-se promissores para as condições experimentais adotadas, atingindo aproximadamente 60% de remoção de cor para o processo de adsorção, e 80% de remoção nos processos combinados (adosrção e fotocatálise). Os resultados destacam a viabilidade do uso de pó de filtro de algodão como carvão ativado para a degradação de corantes, apresentando uma solução sustentável para o tratamento de efluentes têxteis.

Palavras-chave: Carvão Ativado. Pó de Filtro. Corante Disperso.

Synthesis of catalytic adsorbents from solid waste from cotton spinning

Abstract: Textile industries face significant challenges due to the generation of waste throughout the production process, either by the generation of solid waste or by the high volume of effluents generated. The environmental impact is aggravated by the use of dyes. This work proposes a sustainable approach, aiming at the use of solid waste from the cotton fiber spinning process, applied to the removal of dyes in the treatment of effluents. The synthesis of activated carbon (AC) was carried out by means of activation with H3PO4 and incorporation of TiO2, combined with the ultrasound process and pyrolysis. The adsorbent materials were subjected to photocatalysis and adsorption tests, using dispersed dyes. The test results were promising for the experimental conditions adopted, reaching approximately 60% of color removal for the adsorption process, and 80% of removal in the combined processes (adsorption and photocatalysis). The results highlight the feasibility of using cotton

filter powder as activated carbon for dye degradation, presenting a sustainable solution for the treatment of textile effluents.

Key words: Activated Carbon. Solid Waste. Disperse Dye.

Introdução

A indústria têxtil brasileira é ser considerada uma grande geradora de resíduos têxteis sólidos e líquidos, chamando atenção na geração de resíduos sólidos as etapas envolvidas na confecção de vestuários. Em 2020, essa indústria foi responsável pela geração de 4,45 milhões de toneladas de resíduos sólidos no país, contabilizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), sendo caracterizadas como grandes poluidoras, devido à alta geração de resíduos sólidos e líquidos (ABRELPE, 2021).

De acordo com Schmitt *et al.* (2019), os resíduos sólidos têxteis englobam todas as sobras provenientes dos processos de modelagem, enfesto, corte, produção e finalização, as quais não recebem a destinação adequada de descarte. Estima-se que 90% desse montante gerado é descartado de maneira irregular, seja em aterros sanitários, terrenos baldios, ou corpos hídricos. Tal descarte inadequado pode ser atribuído aos elevados custos da destinação apropriada e à ausência de uma gestão eficaz dos resíduos sólidos industriais (Schmitt *et al.*, 2019).

Os resíduos líquidos são gerados pelas indústrias têxteis em maior volume nos processos de acabamento, beneficiamento, tingimento e estamparia, os quais utilizam de corantes e auxiliares químicos, gerando efluentes complexos e de difícil degradação (Stoppe *et al.*, 2019). No Brasil o consumo de corantes ultrapassa 20 mil toneladas por ano (Santos, 2018).

Os efluentes provenientes dos processos têxteis têm forte coloração, elevada carga orgânica e contêm compostos químicos tóxicos, o que torna os tratamentos convencionais insuficientes para a remoção de toxicidade desses efluentes. O lançamento em corpos hídricos representa um risco ao ambiente e à saúde humana, demandando o desenvolvimento de processos capazes de minimizar os danos causados ao ambiente (Ramos *et al.*, 2021).

Os processos físico-químicos e biológicos, tradicionalmente utilizados pelas indústrias têxteis, revelam-se inadequados para o tratamento desses compostos, sendo os processos oxidativos avançados (POAs) uma alternativa. A fotocatálise heterogênea é um tipo de POA,

que permite converter estruturas complexas de compostos que possam ser degradados, utilizando-se de um catalisador exposto ao resíduo e à radiação (Gálvez, Rodríguez & Gasca, 2001).

Uma alternativa viável para o reaproveitamento dos resíduos têxteis, especialmente no tratamento de efluentes, é o processo de síntese do carvão ativado para aplicação em adsorção, que tem grande efetividade na remoção de diversos contaminantes da água (Zakria, *et al.*, 2021). Uma das vantagens do processo de adsorção é a capacidade de regeneração do adsorvente sendo os carvões ativados materiais carbonáceos com estrutura microcristalina, capazes de aumentar a porosidade interna. Qualquer material com alto teor de carbono pode ser transformado em carvão ativado (Yousef & Qiblawey El-Naas, 2020).

O presente trabalho teve como motivação encontrar soluções para o aproveitamento de resíduos sólidos têxteis, visando a aplicação no tratamento de efluentes contendo corantes dispersos, com objetivo de aumentar a eficiência nos processos fotocatalíticos e de adsorção, e possibilitar alternativas para ampliação dos tratamentos em indústrias têxteis de uma maneira sustentável, convergindo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentáveis 6 (água potável e saneamento), 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 13 (ação contra mudança global do clima e 14 (vida na água).

Para isso, utilizou-se o pó de filtro de fiação de algodão como adsorvente na produção de carvão ativado, realizando a impregnação do catalisador Dióxido de Titânio (TiO_2), aplicando em processo de adsorção e fotocatálise com soluções contendo corantes dispersos.

Metodologia

Os procedimentos experimentais foram conduzidos no laboratório do GETECA na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Apucarana e o pó de filtro de fiação de algodão (Figura 2) foi obtido junto a uma indústria Têxtil de fiação de algodão, situada no norte do estado do Paraná.

Figura 2 – Pó de Filtro de Fiação de Algodão



Obtenção do Carvão Ativado

Os ensaios iniciaram com homogeneização do pó de filtro para a produção do carvão ativado, seguido pela ativação química combinada com processo de ultrassônificação e por último foram realizados os ensaios de adsorção e fotocatálise heterogênea. A síntese do carvão ativado se deu a partir da proporção 1:4 (1g de pó de filtro para 4 g de ácido fosfórico – H_3PO_4), e adicionando 10% de massa do catalisador TiO_2 – tipo anatase, mantendo em agitação por 1 hora no ultrassom.

Posteriormente, foi realizado a pirólise em forno mufla (Zezimaq) e reator de aço inox com tampa rosqueável. A mufla foi programada com taxa de aquecimento de 10ºC/min até atingir a temperatura de 500ºC e mantida por 2 horas, com baixo teor de oxigênio 100mL/min, de acordo com Costa (2020).

Após o resfriamento das amostras até a temperatura ambiente, a amostra foi triturada e submetida a lavagem utilizando 200 mL de solução básica de 0,1 molar de NaOH seguida por lavagem em 400 mL de água destilada para neutralização do pH. Por último, a amostra foi seca em estufa a 105ºC por 12 horas e armazenadas.

Para determinar o rendimento do carvão foi realizada análise gravimétrica considerando a massa inicial e final.

Solução de Efluente Têxtil

Os efluentes sintéticos foram preparados contendo corantes da classe disperso, único corante para tingir fibras de poliéster. As cores utilizadas foram Amarelo Ouro Brilhante RD-E – Foron CNAA009911 (coloração amarela) e Foron Azul RD-S CNAA018349 (coloração azul), ambos da marca Clariant, e foi preparado um efluente realizando

a mistura dos dois corantes (coloração levemente verde), simulando a dicromia comum na indústria.

Ensaio Fotocatalítico

Os ensaios fotocatalíticos foram realizados em duplicata, em um reator do tipo batelada de bancada. Foram utilizados béqueres de 150mL da solução mãe e 2,5g.L^{-1} de carvão ativado contendo TiO_2 impregnado. O reator, utilizado tem capacidade para 15 béqueres, possui 4 lâmpadas ultravioletas de 15W cada, totalizando 60W de potência.

Os béqueres contendo o efluente foram dispostos no reator em tratamento fotocatalítico, retirando-se amostras de 10mL a cada tempo determinado (10, 20, 30, 120, 180, 240 e 300 minutos) e com auxílio de uma centrifuga (Tech ab modelo so-2b), a 350 rpm remover as partículas do catalisador e fibras em suspensão durante 20 minutos.

A determinação da descoloração ocorreu com auxílio de espectrofotômetro UV-VIS (BEL Photonics) utilizando o intervalo 190-700nm e utilizando a equação 1:

Descoloração (%) = $[(Abs_i - Abs_f)]/Abs_i \cdot 100$ (Equação 1)

Onde,

Abs_i = Absorbância da solução antes do tratamento.

Abs_f = Absorbância da solução após o tratamento.

Ensaios de Adsorção

Os ensaios de adsorção empregando o carvão ativado sintetizado foram realizados em triplicata, utilizando a solução de corante disperso descrita anteriormente e reator em batelada.

Para a realização do ensaio a concentração utilizada foi de 2,5g.L^{-1} do carvão ativado. As amostras foram colocadas em 150mL de solução do efluente sintético, contendo o corante, a ser tratado (amarelo, azul e a mistura). As amostras foram mantidas em agitação no escuro e coletadas em intervalos de 10, 30, 60 e 120 minutos. A cada intervalo, 10mL foram coletados, centrifugados e transferidos para uma cubeta de PMMA para a leitura do valor e absorbância.

Para a determinação da cinética de adsorção calculou-se a quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de carvão Q_a, equação 2 (Schenieder, 2008):

$Q_a = ((C_i - C_f\ ) * V)/m$

Onde,

C_i é a concentração inicial do corante na solução

C_f é a concentração do corante final após o contato com os carvões ativados;

V é dado pelo volume da solução;

m é a massa de carvão ativado;

Ponto de Carga Zero (pH_{pcz})

Para a determinação do pH_{pcz} foram utilizados 20mL cloreto de sódio (0,05mol.L^{-1}) em contato com 0,05 g de adsorvente, repetiu-se o procedimento para todas as condições, ajustando o pH para (2,4,6,8,10, e 12), com soluções de ácido clorídrico, e hidróxido de sódio (HCl e NaOH, 0,1mol L^{-1}). As amostras foram mantidas em agitação constante por 24 horas para atingir as condições de equilíbrio e posteriormente mediu-se os valores finais de pH.

Resultados e discussão

Análise gravimétrica

O cálculo do rendimento obtido para o carvão ativado com H_3PO_4 a partir do resíduo de pó de filtro após o processo de pirólise foi de 67,48 ± 1,86%.

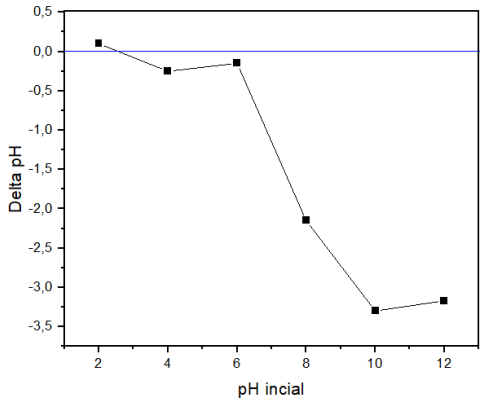
Costa *et al.*, (2020) sintetizaram carvão a partir de fibras 100% algodão e encontraram um rendimento de 60,15%. Os autores relacionaram esse resultado ao uso do ácido fosfórico para ativação, indicando que isso pode ter contribuído para o aumento de estabilidade do tratamento de pirólise.

De acordo com a literatura durante o processo de pirólise são removidos açucares, graxas e outros materiais que estão presentes na superfície da fibra (Silva *et al.*, 2018). O ácido fosfórico, que contribui para aumentar o número de poros na ativação, também contribui para os processos de desidratação e condensação devido a liberação de gases, diminuindo o rendimento. Quando a reação com H_3PO_4 se estabiliza, ocorre a inibição da formação de compostos voláteis, aumentando o rendimento (Silva *et al.*, 2018).

Determinação do potencial de carga zero (PH_{pcz})

É importante ressaltar que o pH inicial do carvão ativado impregnado com TiO_2 utilizando o método de ultrassom estava em 4,68. Foi determinado o potencial de carga zero conforme Figura 3.

Figura 3 – Ponto de carga zero do carvão ativado



O PH_{pcz} foi determinado em 2,6. No pH de carga zero o material possui carga neutra, quando o pH é inferior ao PH_{pcz} o material se encontra carregado positivamente, e dessa forma pode ocorrer ligações iônicas com as moléculas que estão carregadas negativamente (Giacomni *et al.*, 2017).

Avaliação do Adsorvente Fotocatalítico

Inicialmente, um teste de adsorção foi realizado para validar a interação dos corantes, sendo selecionado o corante Amarelo Ouro Brilhante RD-E para calcular a curva-padrão e encontrar uma concentração próxima da absorbância de 1. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente e pH inicial em 5. Definiu-se a concentração de catalisador em 0,05g.L^{-1} para os testes catalíticos.

Realizada a varredura dos corantes amarelo disperso, e azul disperso e da mistura, determinou-se os picos de absorção para cada um dos corantes utilizados, sendo para o corante amarelo λ=498nm, para o corante azul λ=564nm e para a mistura o pico foi em λ=498nm o mesmo do corante amarelo, porém foi observado o surgimento de outros picos, próximos a λ=564nm indicando a presença da coloração azul na mistura de coloração verde.

A escolha dos corantes foi fundamentada no cenário têxtil atual, onde o corante disperso é amplamente utilizado para tingimento de fibras de poliéster, a fibra sintética mais utilizada no mundo. Além disso, considerou-se que os efluentes industriais dificilmente são separados ao longo do processo têxtil, e avaliando a degradação de uma mistura de corantes dispersos, pode-se verificar o comportamento semelhante ao cenário real.

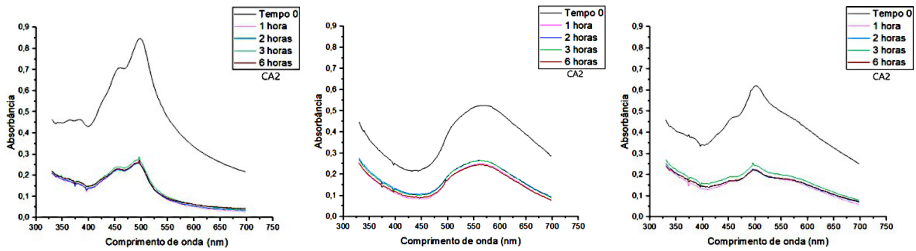
Testes de adsorção

Com base nos resultados dos testes de PCZ, os experimentos de adsorção foram realizados em meio ácido utilizando o pH 2,5 para as soluções de corantes dispersivos e a mistura.

Conforme literatura de trabalhos anteriores Correia (2017) reportaram que a maior capacidade de adsorção para o carvão ativado sintetizado de resíduos têxteis de algodão foi encontrada utilizando pH 3, no caso para a remoção de corante RB5.

Os resultados de absorbância dos corantes e da mistura, estão apresentados nas Figura 4a, 4b,4c.

Figura 4 – Adsorção dos corantes dispersos ao carvão ativado
4a – Corante Amarelo4b – Corante Azul4c – Mistura Azul com Amarelo



Os testes de adsorção foram positivos para os corantes selecionados, sendo que para o amarelo disperso o percentual de adsorção foi de 59,0%, para o azul 12,8% e para a mistura de cores 41,1%, indicando que não apenas a classe de corante influencia na descoloração do efluente, mas a cor do corante, também é um fator importante.

Testes Fotocatalíticos

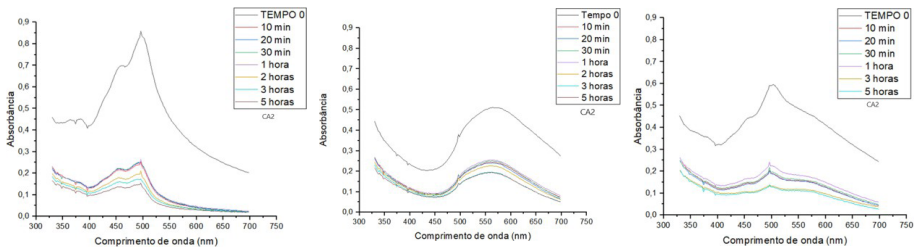
Foram realizados ensaios de fotólise, sem a adição do catalisador para ver o comportamento dos corantes na presença da luz UV. Os resultados desses testes estão apresentados na Tabela 1, indicando as absorbâncias inicial e final para os corantes amarelo, azul e a mistura.

Tabela 1 – Leitura de absorbância para Fotólise

Cor	Abs. Inicial	Abs. Final	Descoloração (%)
Amarelo	0,8405	0,8294	1,21
Azul	0,5039	0,5034	0,09
Mistura (verde)	0,4074	0,4011	1,54

Os testes de fotocatálise foram realizados para os corantes amarelo, azul e a mistura, utilizando o carvão ativado sintetizado. As curvas de remoção para cada corante são apresentadas nas Figura 5a, 5b e 5c.

Figura 5 – Curva de degradação fotocatalítica dos corantes dispersos
5a – Corante Amarelo5b – Corante Azul5c – Mistura Amarelo e Azul



Os resultados dos testes revelaram uma adsorção rápida, ocorrendo predominantemente até 1 hora de reação, onde a adsorção e dessorção do corante é limitada até atingir o equilíbrio, e posterior à 1 hora a predominância da fotocatálise, representado pelo aumento na degradação do corante. A remoção de cor para o amarelo disperso alcançou o 80,9%, para o azul 44,7% e para a mistura 74,1%.

Na fotocatálise foi observado o mesmo comportamento do processo de adsorção, onde o amarelo é mais suscetível a degradação do que a cor azul, reforçando a influência que a cor exerce na degradação do efluente.

Os resultados obtidos para os processos que utilizaram a fotocatálise apresentaram maior eficiência em relação ao uso somente do processo de adsorção. Esses resultados oferecem insights valiosos para a escolha e otimização da síntese de carvão ativado, e possível aplicação para os processos de tratamento de efluentes contendo corantes têxteis.

Considerações finais

Foi possível sintetizar carvão ativado a partir de resíduo industrial têxtil de pó de filtro, utilizando ativação com ácido fosfórico e combinando o processo de processo de ultrassom. O carvão ativado passou

pela pirolise, e lavagem, utilizando lavagem básica com uma solução de NaOH, sendo possível reduzir significativamente o volume de água utilizado no processo.

Os testes de adsorção utilizados para dois corantes dispersivos de coloração amarela e azul, demonstraram remoção de até 60% para o corante amarelo e de 13% para o corante azul, foi realizada o tratamento para a mistura dos dois corantes, sendo que na mistura foi possível observar dois pontos específicos de degradação, alcançando aproximadamente 40% de remoção.

Os testes fotocatalíticos alcançaram resultados significativos, para o corante amarelo até 80,9% de remoção, 44,7% para o corante azul, e a mistura 74,1%.

Conclui-se que foi possível a utilização de pó de filtro de algodão para a síntese de carvão ativado, como uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes têxtil, podendo ser uma solução significativa para o reaproveitamento de resíduos de descarte, reforçando a relevância econômica combinada a práticas sustentáveis promovendo uma alternativa de economia circular na indústria têxtil.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, à Fundação Araucária e a Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado do Paraná, pelo apoio financeiro.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. São Paulo, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. O Setor Têxtil e de Confecção e os Desafios da Sustentabilidade. São Paulo, 2019.

CARVALHO M.M. *et al*. Preocupação ambiental e produção industrial: um exemplo de Santa Catarina (SC). **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 2. 2020.

CORREIA, J. Preparação, caracterização e aplicação de adsorvente carbonoso preparado a partir da pirólise de resíduos de fibras têxteis. 2017, 124 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

COSTA, J. G. B. Carvão Ativado a Partir de Resíduo Têxtil: Síntese, Caracterização e Aplicação na Remoção de Corante Reativo em Efluente Sintético. 2020. 89 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020

GÁLVEZ, J. B., RODRÍGUEZ, S. M., GASCA C. A. E. "Purificación de Aguas por Fotocatálisis Heterogénea: Estado del Arte," **In: M. A. Blesa**, Ed., Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, La Plata, Argentina por Gráfica, 2001.

GIACOMNI, F. *et al.* Importância da determinação do ponto de carga zero como característica de tingimento de fibras proteicas, **Revista Matéria**, 22(2), 2017.

RAMOS, M. D. N. *et al*. A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes. **Process Safety and Environmental Protection.** v.155, 2021.

RODRIGUES, L. S.; HENKES, J. A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em uma Indústria Têxtil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, 2018.

SANTOS, A. da S. Práticas de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Gerados na Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções no Município de Tobias Barreto (SE). 2018. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Curso de Administração, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2018.

SCHMITT, F. *et al.* Gerenciamento de Resíduos Sólidos em uma Empresa de Confecção de Vestuário no Município de Três Passos/RS. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 21, n. 2, p. 1– 13, 2019.

SILVA, Taís L. *et al.* Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions**.** **Journal Of Cleaner Production**, Maringá, v. 171, jan. 2018.

STOPPE, A.C.R. *et al*. Remoção do Corante Azul de Metileno no Tratamento de Efluentes por Adsorção em Carvão de coco verde e Carvão ativado. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 2019, Belém: **Anais**. ENEMP, 2019.

YOUSEF, R., QIBLAWEY H., EL-NAAS M.H. Adsorption as a process for produced water treatment: a review Processes. **Departament of chemical engineering, Qatar**, 2020.

ZAKRIA, H.S. *et al*. Immobilization techniques of a photocatalyst into and onto a polymer membrane for photocatalytic activity. **RSC Advances**. 2021.

Avaliação do resíduo aquoso da pirólise de biomassa (bagaço de uva) no crescimento radicular da soja

Alexandre Giacobbo[1], Valdecir Ferrari[2], Mateus Torres Nazari[3], Marco Antônio Siqueira Rodrigues[4], Andréa Moura Bernardes[5]
[1]PPGE3M/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (alexandre_giacobbo@yahoo.com.br) [2]PPGE3M/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (beigrupo@beigrupo.com) [3]PPGEng/Universidade de Passo Fundo (nazari.eas@gmail.com) [4]ICCT/Universidade Feevale (marcor@feevale.br) [5]PPGE3M/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (amb@ufrgs.br)

Resumo: A pirólise é uma técnica promissora para a valorização de resíduos agroindustriais. No entanto, além dos produtos de interesse comercial como biocarvão, bio-óleo e gases não condensáveis, também gera um resíduo aquoso como subproduto. Este, por sua vez, consiste em um efluente aquoso, com alta carga orgânica, que contém ácido acético, acetona e metanol, além de outros compostos orgânicos em sua composição, os quais variam de acordo com a matéria-prima e as condições de pirólise. Por apresentar uma composição complexa, o efluente aquoso é difícil de ser tratado para disposição final. Por outro lado, ele apresenta propriedades interessantes com possíveis aplicações na agricultura como pesticida, condicionador do solo e promotor de crescimento em plantas. Nesse sentido, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efluente aquoso da pirólise de bagaço de uva como promotor de crescimento de raízes de soja. Em todas as dosagens testadas observou-se crescimento e área superficial de raízes superiores àquelas observadas com o grupo controle (água). Dentre estas, a dosagem de 5 mL/L de efluente aquoso da pirólise apresentou os resultados mais promissores, com comprimento e área superficial de raízes 207% e 308% maiores que as do grupo controle. Estes resultados demonstram a potencial aplicação do efluente aquoso da pirólise de bagaço de uva como promotor de crescimento de raízes de soja, o que é considerada uma excelente estratégia de valorização deste subproduto, promovendo a economia circular no setor agroindustrial.

Palavras-chave: Bioeconomia. Economia Circular. Valorização de Resíduos Agroindustriais.

Evaluation of aqueous residue from biomass pyrolysis (grape pomace) on soybean root growth

Abstract: Pyrolysis is a promising technique for the valorization of agro-industrial waste. However, in addition to products of commercial interest such as biochar, bio-oil and non-condensable gases, it also generates an aqueous residue as a byproduct. This, in turn, consists of an aqueous effluent with a high

organic load, which contains acetic acid, acetone and methanol, in addition to other organic compounds in its composition, which vary according to the raw material and the pyrolysis conditions. Because it has a complex composition, the aqueous effluent is difficult to treat for final disposal. On the other hand, it has interesting properties with possible agricultural applications as a pesticide, soil conditioner and plant growth promoter. In this sense, the present study aims to evaluate the aqueous effluent from the pyrolysis of grape pomace as a growth promoter for soybean roots. In all tested dosages, root growth and surface area were higher than those observed in the control group (water). Among these, the dosage of 5 mL/L of aqueous effluent from pyrolysis showed the most promising results, with root length and surface area 207% and 308% greater than those of the control group. These results demonstrate the potential application of the aqueous effluent from grape pomace pyrolysis as a growth promoter for soybean roots, which is considered an excellent strategy for valorizing this byproduct, promoting the circular economy in the agro-industrial sector.

Key words: Bioeconomy. Circular Economy. Valorization of Agro-industrial Waste.

Introdução

A quantidade de resíduos gerados para alimentar e manter os padrões de consumo da população global vem aumentando exponencialmente nas últimas décadas. Essa sobrecarga na geração dificulta o gerenciamento dos resíduos, de modo que muitas vezes eles são destinados inadequadamente, provocando grandes impactos no meio ambiente (Giacobbo *et al.*, 2024). O tratamento e a correta disposição dos resíduos são de suma importância; mas por serem práticas onerosas, frequentemente acabam não sendo conduzidas apropriadamente. Por outro lado, ações que promovam a economia circular são apreciadas pois geralmente atenuam os custos de tratamento e disposição dos resíduos e efluentes, e também propiciam sua valorização através da recuperação de recursos, proporcionando tanto ganhos econômicos como ambientais (Giacobbo, Bernardes & de Pinho, 2022).

No que tange aos resíduos agroindustriais, a pirólise tem se mostrado como uma prática promissora para agregar valor à biomassa, tendo como principais produtos o biocarvão, gases não condensáveis e um líquido conhecido por extrato pirolenhoso, ácido pirolenhoso ou "vinagre de madeira" (wood vinegar) (Grewal, Abbey e Gunupuru, 2018; Moura *et al.*, 2023). Este, por sua vez, é composto pelo bio-óleo e uma fração aquosa (Ferrari *et al.*, 2024). A maioria destes produtos já possui aplicação comercial: os gases não condensáveis e o bio-óleo são usados como biocombustível para a produção de energia; o biocarvão, além de

ser usado como biocombustível, têm aplicações como adsorvente no tratamento de água e efluentes, na agricultura, e na alimentação animal, dentre outras aplicações (Ferrari *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2024). Por outro lado, a fração aquosa é considerada um subproduto do processo e precisa ser tratada adequadamente antes de ser descartada no meio ambiente. Além de água, esta corrente do processo possui em sua composição ácido acético, acetona e metanol, bem como alcaloides, terpenoides, ceras e outros compostos orgânicos (Kumar *et al.*, 2025).

Estudos têm sido conduzidos para agregar valor ao ácido pirolenhoso, sugerindo aplicações como agente antimicrobiano (Gama *et al.*, 2024), aditivo para ração animal (Macasait, Roylo & Espina, 2021), repelente de insetos (Rahmat *et al.*, 2014), condicionador de solo (He *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2024), pesticida (Ahmadi *et al.*, 2025), indutor de crescimento radicular (Griebeler *et al.*, 2024), controlador de pragas e doenças (Trabelsi & Mhamdi, 2024), indutor de desenvolvimento e crescimento de plantas (El-Fawy *et al.*, 2024), e aumento de produtividade de plantas frutíferas (Abdel-Sattar, Mostafa & Rihan, 2024).

De fato, os diversos estudos abriram uma gama de possibilidades para aplicação do ácido pirolenhoso, mas nenhuma delas está consolidada; que, para atingir tal feito, mais estudos são necessários. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a fração aquosa do extrato pirolenhoso – um subproduto da pirólise de biomassa – como promotor de crescimento das raízes de soja, e assim contribuir para o incremento de conhecimento científico e tecnológico acerca da valorização deste subproduto, contribuindo para o fomento da economia circular no setor agroindustrial.

Materiais e Métodos

O extrato pirolenhoso foi obtido da pirólise a 120 °C do bagaço da uva – um resíduo sólido da vinificação. Via decantação ele foi separado em bio-óleo e uma fração aquosa, a qual foi avaliada como promotor de crescimento radicular inicial da soja. Diferentes concentrações da fração aquosa do extrato pirolenhoso, diluídas em água (2 mL/L, 5 mL/L e 10 mL/L), foram testadas e comparadas com um grupo controle (água). Os testes foram realizados em 5 vasos contendo 300 g de solo, sendo adicionadas 5 sementes de soja por vaso e regadas com 100 mL da solução contendo a fração aquosa do extrato pirolenhoso ou água (grupo controle) no tempo inicial. Subsequentemente, os vasos foram

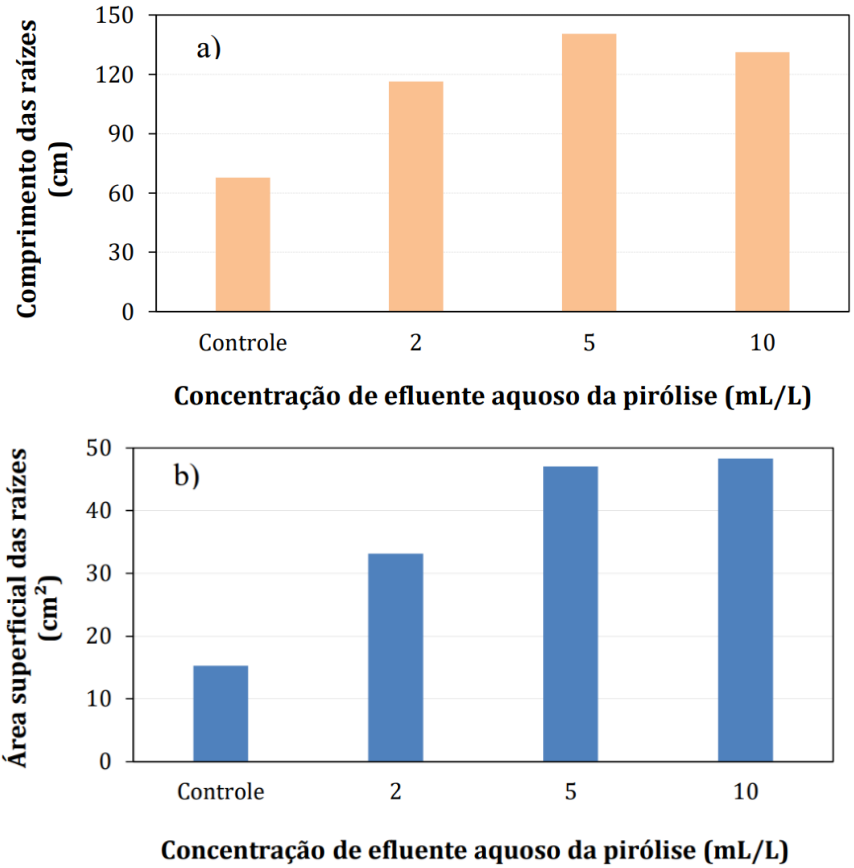
colocados em uma câmara de incubação, a temperatura constante (20 ºC ± 2 ºC) e com luz artificial, proporcionando um fotoperíodo de 12 h no claro e 12 h no escuro. A umidade foi controlada conforme a necessidade através de rega com água. Após 15 dias do início da germinação as plantas foram colhidas para análise, sendo avaliadas 3 plantas de cada vaso (n=15). Nestas, foi avaliado o comprimento total das raízes e a área superficial das raízes.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 são apresentados os resultados de comprimento total das raízes (Figura 1a) e área superficial das raízes (Figura 1b) das plantas de soja, quando submetidas a tratamentos com diferentes concentrações (10 mL/L, 5 mL/L, 2 mL/L, e grupo controle: água) do efluente aquoso separado do extrato pirolenhoso oriundo da pirólise de bagaço de uva. As avaliações foram realizadas 15 dias após a germinação das sementes. Considerando a faixa de concentração estudada, nota-se um comportamento similar para ambos os parâmetros avaliados.

Observa-se um aumento expressivo no comprimento e na área superficial das raízes quando submetidas à irrigação com 2 mL/L de efluente aquoso da pirólise em relação ao grupo controle, e do teste com irrigação com 5 mL/L de efluente aquoso da pirólise em relação ao realizado com 2 mL/L. Por outro lado, um novo aumento da dosagem para 10 mL/L não resultou em aumento significativo tanto para crescimento de raízes como para área superficial de raízes. Esses resultados, portanto, mostram que o efluente aquoso separado do ácido pirolenhoso na concentração de 5 mL/L foi a condição ótima para o presente estudo. Usando a concentração de 5 mL/L observou-se aumentos de 207% no comprimento de raízes 308% na área superficial de raízes em relação aos obtidos com o grupo controle.

Figura 1 – Avaliação das raízes de soja regadas com diferentes dosagens de efluente aquoso da pirólise de bagaço de uva: a) comprimento total das raízes e b) área superficial das raízes



Conclusões

Os resultados do presente estudo apontam para uma possível aplicação do efluente aquoso separado do extrato pirolenhoso oriundo da pirólise de bagaço de uva como promotor de crescimento de raízes de soja. Tal aplicação possibilitaria a recuperação e a valorização de um subproduto, a fração aquosa do extrato pirolenhoso, o que proporcionaria impactos positivos em termos econômicos e ambientais, promovendo a economia circular. Estudos em maior escala, com aplicações em campo, e com outros tipos de biomassa são recomendados para uma avaliação mais aprofundada.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento brasileiras (CAPES, CNPq, FINEP e FAPERGS) pelo suporte financeiro. Alexandre Giacobbo agradece à FAPERGS-RITEs-Processo n.º 22/2551-0000393-1 pela bolsa recebida.

Referências

ABDEL-SATTAR, M.; MOSTAFA, L. Y.; RIHAN, H. Z. Enhancing Mango Productivity with Wood Vinegar, Humic Acid, and Seaweed Extract Applications as an Environmentally Friendly Strategy. **Sustainability**, v. 16, n. 20, p. 8986, 17 out. 2024.

AHMADI, P. *et al.* Production and use of lignocellulosic wood vinegar and tar as organic pesticides to fight bacterial canker disease. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 301, p. 140373, abr. 2025.

EL-FAWY, M. M. *et al.* Effectiveness of biochar and wood vinegar from guava trees in controlling Fusarium verticillioides and enhancing growth and anatomical traits of maize (Zea mays L.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 131, n. 6, p. 2029–2043, 29 dez. 2024.

FERRARI, V. *et al.* Pyrolysis: a promising technology for agricultural waste conversion into value-added products. **Environment, Development and Sustainability**, 2024.

GAMA, G. S. P. *et al.* Antimicrobial Impact of Wood Vinegar Produced Through Co-Pyrolysis of Eucalyptus Wood and Aromatic Herbs. **Antibiotics**, v. 13, n. 11, p. 1056, 6 nov. 2024.

GIACOBBO, A. *et al.* Membrane technologies for recovery of bioactive compounds. *Em*: PAULO EDUARDO SICHETTI MUNEKATA (Ed.). **Application of Emerging Technologies and Strategies to Extract Bioactive Compounds**. 1. ed. Londres: Academic Press, 2024. p. 295–322.

GIACOBBO, A.; BERNARDES, A. M.; de PINHO, M. N. The role of pressure-driven membrane processes on the recovery of value-added compounds and valorization of lees and wastewaters in the wine industry. *Em*: COSTA, J. M. *et al.* (Eds.). **Improving Sustainable Viticulture and Winemaking Practices**. [s.l.] Academic Press, 2022. p. 305–326.

GREWAL, A.; ABBEY, LORD; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, p. 152–159, 2018.

GRIEBELER, A. M. *et al. Acacia mearnsii* pyroligneous acid as a promoter of rooting and quality of rooted cuttings of subtropical Eucalyptus. **Trees**, v. 38, n. 4, p. 1063–1077, 4 ago. 2024.

HE, L. *et al.* Enhancement of nutrient use efficiency with biochar and wood vinegar: A promising strategy for improving soil productivity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 105, n. 1, p. 465–472, 15 jan. 2025.

KUMAR, S. *et al.* Unravelling the multifarious role of wood vinegar made from waste biomass in plant growth promotion, biotic stress tolerance, and sustainable agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 185, p. 106851, jan. 2025.

MACASAIT, D. R.; ROYLO, B. B.; ESPINA, D. M. Growth Performance of Grower Pigs (*Sus scrofa domesticus* L.), Nutritional and Microbial Contents of Wet and Fermented Commercial Hog Ration with Different Levels of Wood Vinegar. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, n. Of, p. 220–224, 30 abr. 2021.

MOURA, F. S. *et al.* Pyroligneous extracts with therapeutic action: A technological prospect. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 59, p. e23351, 2023.

RAHMAT, B. *et al.* Generation of Wood-waste Vinegar and Its Effectiveness as a Plant Growth Regulator and Pest Insect Repellent. **BioResources**, v. 9, n. 4, p. 6350–6360, 2 set. 2014.

TRABELSI, N.; MHAMDI, R. Wood vinegar's role in termite control: from mystery to reality. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 82, n. 5, p. 1263–1272, 20 out. 2024.

YANG, L. *et al.* Effect of Combined Application of Wood Vinegar Solution and Biochar on Saline Soil Properties and Cotton Stress Tolerance. **Plants**, v. 13, n. 17, p. 2427, 30 ago. 2024.

ZHOU, H. *et al.* Wood fiber biomass pyrolysis solution as a potential tool for plant disease management: A review. **Heliyon**, v. 10, n. 3, p. e25509, 2024.

Predicting Biomass Gasification Activation Energy Using Artificial Neural Networks

Thais Coffani Costa [1], Michele Di Domenico [2], Claiton Zanini Brusamarello[3]
[1]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (coffanithais@gmail.com)*
[2]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (micheled@utfpr.edu.br)*
[3]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (claitonz@utfpr.edu.br)*

Resumo: A dependência de combustíveis fósseis representa desafios ambientais e econômicos significativos, impulsionando a busca por alternativas energéticas sustentáveis. A gaseificação de biomassa surge como uma solução promissora, convertendo materiais orgânicos em energia. No entanto, a determinação precisa de parâmetros cinéticos, como a energia de ativação, é essencial para o dimensionamento de reatores e a otimização do processo, mas frequentemente exige análises laboratoriais caras e demoradas. Para resolver esse problema, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) oferecem uma alternativa eficiente e econômica. Este estudo realizou dois testes: o primeiro focou na previsão da energia de ativação para uma ampla variedade de biomassas, e o segundo direcionou-se especificamente à biomassas do sul do Brasil (bagaço de cana, casca de arroz, madeira pinus). O pré-processamento dos dados incluiu tratamento de valores ausentes, remoção de outliers e normalização. Uma arquitetura de RNA feed-forward foi otimizada, alcançando um R^2 de 0,8571 e RMSE de 0,3589 para biomassa global, e um R^2 de 0,9545 e RMSE de 0,1856 para biomassas do sul do Brasil. Os resultados demonstram o potencial das RNAs para prever parâmetros cinéticos com precisão, eliminando a necessidade de extensos trabalhos laboratoriais. Essa abordagem não apenas reduz custos, mas também acelera a otimização dos processos de gaseificação de biomassa, contribuindo para o desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis.

Palavras-chave: Gaseificação de Biomassa. Rede Neural Artificial. Energia de Ativação.

Predicting Biomass Gasification Activation Energy Using Artificial Neural Networks

Abstract: The reliance on fossil fuels poses environmental and economic challenges, driving the need for sustainable energy alternatives. Biomass gasification emerges as a promising solution, converting organic materials into energy. However, accurately determining kinetic parameters, such as activation energy, is essential for reactor design and process optimization but often requires costly and time-consuming laboratory analyses. To address this, Artificial Neural Networks (ANNs) offer an efficient and cost-effective alternative. This study conducted two tests: the first focused on predicting activation energy for a wide range of biomass, and the second specifically tar-

geted biomass from southern Brazil (sugarcane bagasse, rice husk, pine wood). Data preprocessing included handling missing values, outlier removal, and normalization. A feed-forward ANN architecture was optimized, achieving an R^2 of 0.8571 and RMSE of 0.3589 for global biomass, and an R^2 of 0.9545 and RMSE of 0.1856 for southern Brazilian biomass. The results demonstrate the potential of ANNs to predict kinetic parameters accurately, eliminating the need for extensive laboratory work. This approach reduces costs and accelerates the optimization of biomass gasification processes, contributing to the development of sustainable energy solutions.

Key words: Biomass Gasification. Artificial Neural Network. Activation Energy.

1 Introduction

Energy sustains civilizations, but reliance on fossil fuels poses significant challenges. Biomass, a renewable resource from organic matter such as plants, animals, and waste, offers a sustainable alternative (Pacioni, 2006). Biomass gasification at 800–1000°C converts solid biomass into gases like CO and H_2, alongside tar species, reducing fossil fuel dependence and environmental impact while creating economic and social benefits (Sharma, 2022; Loo and Koppejan, 2008).

Kinetic studies are crucial for designing industrial gasifiers, but challenges like high costs, time, and biomass variability hinder accurate parameter determination (Raveendran, 1996). Artificial Neural Networks (ANNs), inspired by biological brains, offer a promising solution. ANNs excel in modeling complex, non-linear relationships and predicting outcomes efficiently, making them ideal for biomass thermochemical conversion (Haykin, 1994; Sharma, 2022).

Recent studies demonstrate ANNs' potential in biomass gasification, such as correlating biomass constituents with pyrolysis kinetics (Sunphorka *et al.*, 2017) and predicting syngas composition (Ozonoh *et al.*, 2020). However, a gap remains in using ANNs to predict kinetic parameters for gasification. This study aims to address this gap by developing a feed-forward ANN model to predict activation energy for various biomass types, including rice husk, sugarcane bagasse, and Pinus wood, commonly used in southern Brazil (IBGE, 2023; EMBRAPA, 2022; IBÁ, 2018). This research seeks to improve gasifier design and optimization by enhancing kinetic parameter estimation advancing sustainable energy solutions.

2 Methodology

2.1 Data Collection and Preprocessing: The data used for this study were collected through a systematic literature review from sources such as Scopus, Science Direct, and Google Scholar. Articles providing proximate, ultimate, and kinetic data related to biomass gasification were selected. Keywords included combinations of "gasification," "kinetics," "rice husk," "sugarcane bagasse," and "Pinus wood."

Two datasets were created: one focusing on biomass specific to the southern region of Brazil and another with diverse biomass from the scientific literature. Specific techniques were adopted to ensure data quality and uniformity. Missing values were handled using an arithmetic mean imputation, which involves replacing missing values with the variable's mean calculated from valid samples (Vinha & Laros, 2018). Outliers were removed using Tukey's method, also known as the Boxplot method, which defines lower and upper limits based on quartiles using the Interquartile Range (IQR). The IQR, the difference between the third quartile (Q3) and the first quartile (Q1), describes data dispersion around the median (Rousseeuw & Hubert, 2017).

Normalization was performed using the Z-score method, expressing values in standard deviations relative to the mean. Finally, a Pearson correlation matrix was constructed to identify relationships between variables and their intensity.

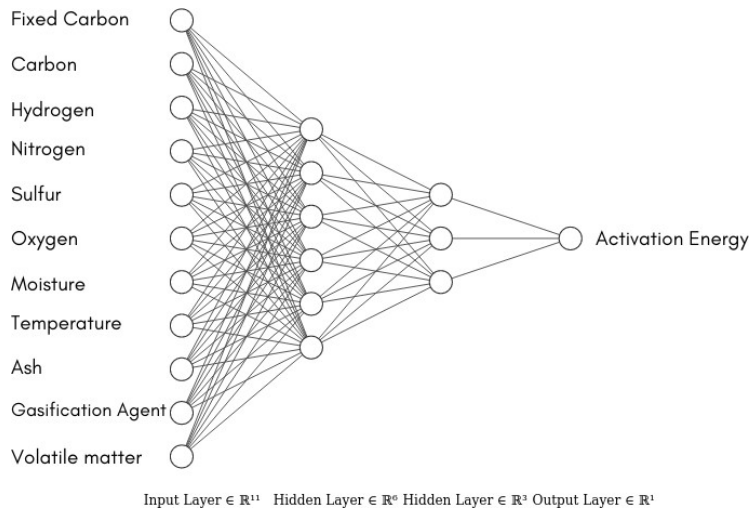
2.2 Artificial Neural Network (ANN): A feed-forward architecture was chosen for the Artificial Neural Network (ANN) due to its simplicity and effectiveness in regression problems. The feed-forward neural network was the first type of neural network created and remains the simplest compared to other models, such as recurrent networks (Sharkawy, 2020). It is called "feed-forward" because information travels in a single direction through the network (without cycles), passing first through the input nodes, then through the hidden nodes (if present), and finally through the output nodes (Sharkawy, 2020). This architecture is particularly advantageous for its ability to approximate complex functions and predict continuous and discrete values (Otchere *et al.*, 2021).

The input data were selected based on the proximate and ultimate biomass analyses, including percentages of volatile matter, ash, moisture, fixed carbon, carbon, oxygen, hydrogen, nitrogen, sulfur, gas-

ifying agent, and gasification temperature. The output data correspond to the activation energy, which is part of the kinetic analysis of biomass gasification.

Figure 1 illustrates the feed-forward artificial neural network model developed in this study, highlighting the hidden layers, inputs, and outputs.

Figure 1 – Feed-Forward ANN Model



Source: authors (2025)

Hyperparameter Optimization: The methodology involved testing various hyperparameters to determine the optimal ANN configuration. These included:

- Train-test splits: Three splits were tested–80% training and 20% testing, 75% training and 25% testing, and 70% training and 30% testing. Proper data splitting is essential to avoid overfitting and ensure accurate performance estimation (Elkan, 2007).
- Random seeds: Seeds were varied from 0 to 100,000 to ensure reproducibility and improve weight initialization, which minimizes the difference between the network's output and the desired result (Goodfellow *et al.*, 2016).

- Activation functions: These were evaluated for their impact on learning non-linear relationships between inputs and outputs, significantly affecting network performance (Goyal *et al.*, 2019).
- Optimizer: The Adam optimizer was used for adaptive learning rate adjustments based on past gradients (Ajani & Bharadwaj, 2019).
- Epochs: The number of epochs was tested from 0 to 1,000 in intervals of 50 to balance underfitting and overfitting, ensuring the model generalizes well to new data (Das & Das, 2023).
- Batch size: Batch sizes were tested between 2 and 300 to evaluate their impact on training time and accuracy. Larger batch sizes may reduce training time but do not always improve accuracy (Aldin & Aldin, 2022).

Analysis: To quantify the accuracy of the ANN, metrics such as Root Mean Square Error (RMSE) and the coefficient of determination (R^2) were adopted.

RMSE is a metric used to measure the performance of a predictive model, especially in regression and forecasting analyses (Jani *et al.*, 2023). R^2, on the other hand, is widely used in regression analysis to measure the quality of fit and the relationship between variables. It quantifies the fraction of variability in the dependent variable explained by the independent variables in a multiple linear regression model (Pyrczak & Oh, 2018). The best value for R^2 is 1, while the lowest value can be negative or extend to infinity (Chicco *et al.*, 2021).

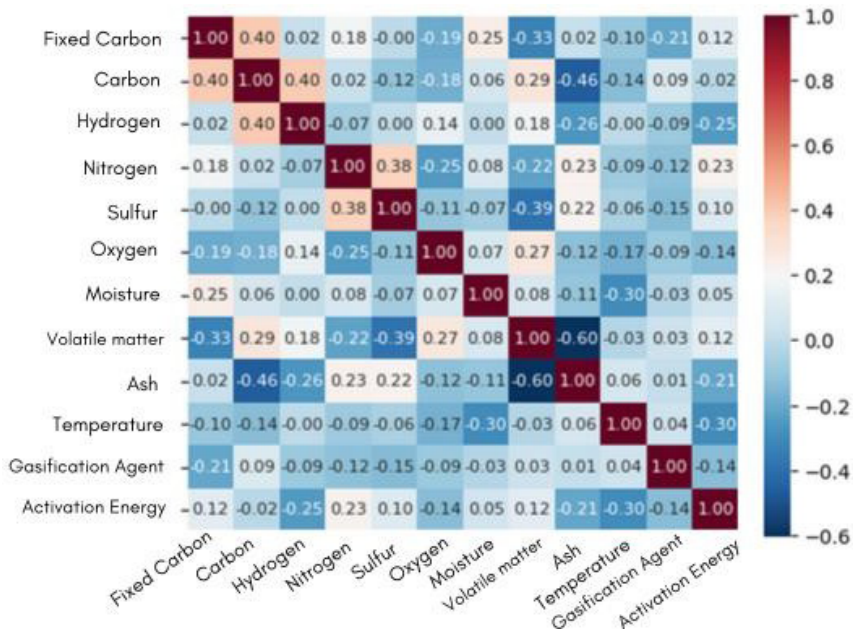
3 Results

This study focused on two main tests: predicting activation energy for a wide range of biomass and specifically for biomass from southern Brazil. The first test included biomass from southern Brazil and other sources from the literature, aiming to evaluate the model's performance in a broader context. The second test focused exclusively on southern Brazilian biomass, assessing the neural network's ability to predict activation energy under regional conditions, highlighting its local applicability

3.1 Analysis: The Pearson correlation matrix is used in data analysis and factor analysis to measure linear relationships between variables (Schober *et al.*, 2018). When interpreting correlation coefficients, it is important to consider their range (-1 to +1) and statistical significance

(Schober *et al.*, 2018). A correlation coefficient of -1 indicates a perfect negative correlation, meaning that as one variable increases, the other decreases proportionally. This inverse relationship suggests that the variables move in opposite directions. On the other hand, a correlation coefficient of +1 indicates a perfect positive correlation, meaning that as one variable increases, the other also increases proportionally.

Figure 2 – Correlation matrix



Source: authors (2025)

Figure 2 reveals several correlations in the dataset, some aligning with findings by Vassilev *et al.* (2010):

- Positive correlation (0.40) between carbon and hydrogen.
- Positive correlation (0.38) between nitrogen and sulfur.
- Negative correlation (-0.33) between fixed carbon and volatile matter.

These results emphasize the importance of element presence, abundance, and distribution in biomass composition.

A negative correlation (-0.30) between activation energy (Ea) and temperature indicates that higher temperatures lower the energy required for gasification reactions. This effect is likely attributed to the

increased molecular kinetic energy at elevated temperatures, which promotes more frequent and effective collisions, facilitating reactions (Couto *et al.*, 2020). Higher temperatures also enhance biomass conversion, increase gas yield, and minimize solid residues and tar formation, improving gasification efficiency and syngas quality. Similarly, a negative correlation (-0.60) between volatile matter and ash indicates that materials with higher volatile matter produce less ash, likely due to their higher organic content. In contrast, materials with lower volatile matter typically have higher mineral content, leading to more ash after combustion.

However, this study identified a positive correlation (0.40) between carbon and fixed carbon, a relationship not previously reported in the literature, warranting further investigation.

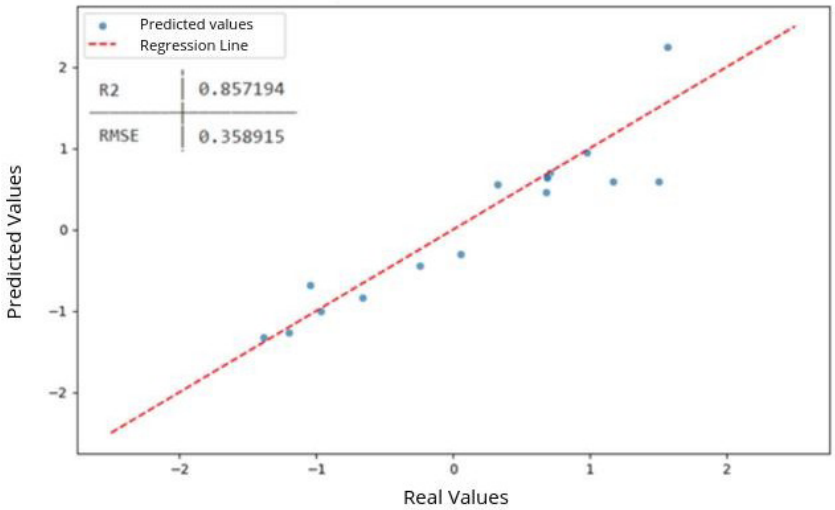
3.2 Prediction of Activation Energy for a Wide Range of Biomass: This study utilized a dataset comprising 40 biomass records from the literature and 36 data points specific to biomass from southern Brazil. During the preprocessing phase, the percentage of null values for each input and output of the network was determined. Notably, moisture was the variable with the highest incidence of null values, representing 14% of its data, followed by sulfur, temperature, and activation energy, with 7.9% null values.

The 80% training and 20% testing split demonstrated the best performance among the tested configurations. After defining this split, a seed search was conducted, yielding optimal results with the following ANN configuration:

- Activation function: Gaussian
- Epochs: 250
- Seed: 30.229
- Hidden layers structure: (6, 2)
- Batch size: 32

The scatter plot of actual versus predicted activation energy values by the artificial neural network (ANN), as shown in Figure 3, illustrates the model's performance.

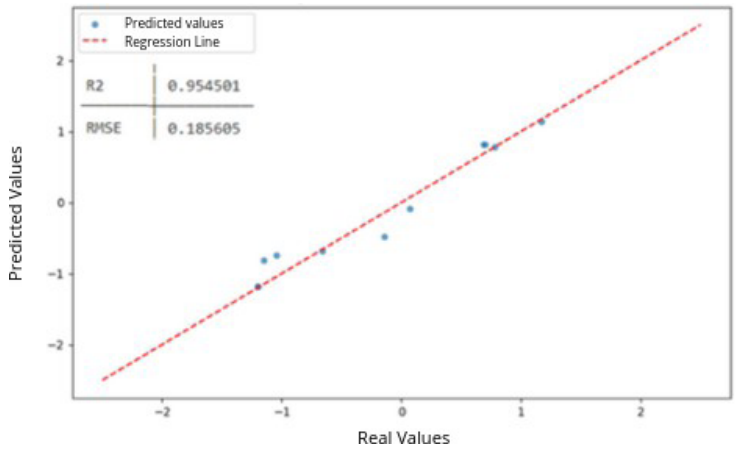
Figure 3 – Scatter plot: wide range of biomass



Source: authors (2024)

3.3 Prediction of Kinetic Energy for Southern Brazilian Biomass: This test used 76 biomass records (40 from the literature and 36 from Brazil). However, only 11 records of southern Brazilian biomass were included in the test set this time, while the remaining data were allocated for training. This ensured that southern Brazilian biomass data were not used during the network's training phase, as illustrated in Figure 4.

Figure 4 – Scatter plot: Southern brazilian biomass



Source: authors (2024)

The best results for the ANN were achieved with the following configuration:

- Activation function: Gaussian
- Epochs: 300
- Seed: 3482
- Hidden layers structure: (10,6)
- Batch size: 16

4 Conclusion

This study investigated using artificial neural networks (ANNs) to determine activation energy in biomass gasification. In the first test, which included data from southern Brazilian biomass and the literature, the ANN models achieved an R^2 of 0.8571 and an RMSE of 0.3589 for predicting activation energy. In the second test, which focused exclusively on predicting parameters for southern Brazilian biomass, the ANN model for activation energy prediction achieved an R^2 of 0.9545 and an RMSE of 0.1856.

Compared to conventional methods, the ANN-based approach eliminates the need for detailed and often time-consuming laboratory analyses for each biomass type. Once trained, ANNs can efficiently predict parameters for various biomass types without additional tests, providing a faster and more cost-effective alternative. Given the variability and uniqueness of biomass materials, ANNs are especially well-suited for predicting kinetic parameters in biomass gasification.

Future research could benefit from diversifying the dataset by incorporating various biomass types from southern Brazil and other regions. This expansion would increase data representativeness and provide deeper insights into biomass characteristics in gasification processes. Additionally, systematic comparisons between the ANN approach and other machine learning algorithms are suggested to refine and validate predictive accuracy further.

Referências

AJANI, BHAVYA AND ADITYA BHARADWAJ. **Adaptive Moment Estimator (Adam) Optimizer in ITK v3**. The Insight Journal. 2019.

ALDIN, N.B., & ALDIN, S.B**. Accuracy Comparison of Different Batch Size for a Supervised Machine Learning Task with Image Classification**. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), 316-319. 2022.

CHICCO D, WARRENS MJ, JURMAN G.. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. PeerJ Comput. Sci. 7:e623 DOI 10.7717/peerj-cs.623. 2021

DAS, N., & DAS, S.C. Epoch and accuracy based empirical study for cardiac MRI segmentation using deep learning technique. PeerJ, 11. 2023.

ELKAN, CHARLES PETER. **Evaluating Classifiers**. 2007.

EMBRAPA.Ofuturodaagriculturabrasileira.2022.Disponívelem: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos- producao/acucar Acesso em: 25. Outubro 2023.

EMPRABA. A cana-de-açúcar. 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/visao-de- futuro/trajetoria-do-agro/desempenho-recente-do-agro/cana-de-acucar. Acesso em: 25. Maio 2023.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. *Deep learning*. Cambridge: MIT Press, 2016.

GOYAL, MOHIT *et al.* **Activation Functions**. Deep Learning: Algorithms and Applications. 2019.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e prática**, 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – Relatório 2019. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 25 Maio 2023.

IBGE.Lspa–LevantamentoSistematicodaProduçãoagricola. Disponívelem: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados- abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(Biomassa).pdf. Acesso em: 18 Maio 2023.

JANI, RUDRESH *et al.* **SAM based Computational Analysis of Root Mean Square Error for SPES Using LR, RF & ARIMA Machine Learning Models**. 2023 3rd International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET) (2023): 1-6.

LOO, S. VAN; KOPPEJAN, J. The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing Edited by Sjaak van Loo and Jaap Koppejan. n. January, p. 426, 2008.

OTCHERE, Daniel Asante *et al.* Application of supervised machine learning paradigms in the prediction of petroleum reservoir properties: Comparative analysis of ANN and SVM models. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 200, p.108182, 2021.DOI: 10.1016/j.petrol.2020.108182.

PACIONI, T. R. **Gaseificação de biochars de bagaço de maçã e de borra de café com co2: estudo cinético.** Universidade Federal de Santa Catarina centro tecnológico programa de pós-graduação em engenharia química, p. 1–109, 2006.

PYRCZAK, Fred; OH, Deborah M**. Coefficient of Determination. In: Making Sense of Statistics**. 7. ed. Routledge, 2018. p. 5. ISBN 9781315179803.

RAVEENDRAN, K. **Updraft gasification of biomass**. Biomass and Bioenergy, v. 10, n. 6, p. 415-421, 1996.

ROUSSEEUW, P.J. AND HUBERT, M., **Anomaly detection by robust statistics. WIREs Data Mining Knowl Discov**, 8: e1236. https://doi.org/10.1002/widm.1236, 2017

SCHOBER P, BOER C, SCHWARTE LA. **Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation.AnesthAnalg.**2018May;126(5):1763-1768.doi: 10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.

SHARKAWY, A. **Principle of Neural Network and Its Main Types**: Review. Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics. 2020.

SHARMA, K.; KAISARE, N.; GOYAL, H. **A recurrent neural network model for biomass gasification chemistry**. React. Chem. Eng., 2022, 7.570. DOI: 10.1039/d1re00409c.

STANISLAV V. VASSILEV, DAVID BAXTER, LARS K. ANDERSEN, CHRISTINA G. VASSILEVA, **An overview of the chemical composition of biomass, Fuel,** Volume 89, Issue 5, 2010, Pages 913-933, ISSN 0016-2361

VINHA, M. M.; LAROS, M. R. **A técnica de imputação pela média:** uma análise comparativa com outros métodos para dados faltantes em avaliação educacional. Revista Brasileira de Pesquisa Educacional, v. 1, n. 2, p. 45-58, 2018.

Bagaço de Vinagre de Maçã como Fonte de Energia Renovável: Caracterização Físico-Química e Modelagem Cinética da Pirólise

Larissa Fatima Rocha[1], Ivaldir José Tamagno Junior[2], José Luiz Francisco Alves[3], Claiton Zanini Brusamarello[4], Michele Di Domenico[5]
[1] *Universidade Federal de Santa Catarina (r.larissafrocha@gmail.com)*
[2] *Universidade de São Paulo (ivaldirjunior@usp.br)*
[3] *Universidade Federal da Paraíba (joseluiz@cear.ufpb.br)*
[4] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (claitonz@utfpr.edu.br)*
[5] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (micheled@utfpr.edu.br)*

Resumo: As mudanças climáticas impulsionam a transição para fontes de energia renovável de baixa emissão, como a biomassa. Este estudo utiliza um analisador termogravimétrico para investigar a caracterização e o potencial energético do resíduo de vinagre de maçã por meio da pirólise. O resíduo pulverizado apresentou baixo teor de cinzas (2,32%), alto teor de voláteis (82,71%) e de carbono (41,49%), além de um poder calorífico superior de 17,52 MJ kg^{-1}. A pirólise foi realizada em quatro razões de aquecimento até 900°C, e a cinética foi avaliada pelo mecanismo de única etapa. Os valores de energia de ativação, obtidos por três modelos isoconversionais (Kissinger-Akahira-Sunose, Flynn-Wall-Ozawa e Starink) apresentaram pequena variação, aproximando-se de 166 kJ mol^{-1}. Já os fatores pré-exponenciais, calculados pelo método de Kissinger, foram superiores a $1,25 \times 1016$ min^{-1}. Coeficientes de correlação $R^2 > 0,9993$ foram encontrados para todos os casos. Os resultados mostram que o resíduo do vinagre de maçã possui potencial significativo para a produção de bioenergia.

Palavras-chave: Resíduo do vinagre de maçã. Cinética da pirólise. Bioenergia.

Apple Vinegar Bagasse as a Renewable Energy Resource: Physicochemical Characterization and Kinetic Modeling of Pyrolysis

Abstract: Climate change drives the transition to low-emission renewable energy sources like biomass. This study uses a thermogravimetric analyzer to investigate the characterization and energy potential of apple vinegar residue through pyrolysis. The pulverized residue showed low ash content (2.32%), high volatile matter (82.71%), and carbon (41.47%) contents, and a higher heating value of 17.52 MJ kg-1. Pyrolysis was conducted at four heating rates up to 900°C, and the kinetics was assessed using the single-step mechanism. Activation energy values, obtained by three isoconversional models (Kissinger-Akahira-Sunose, Flynn-Wall-Ozawa, and Starink), showed slight

variation, averaging around 166 kJ mol-1. The pre-exponential factors, calculated using the Kissinger method, were above 1.25 × 1016 min-1. Correlation coefficients $R^2 > 0.9993$ were found in all cases. The results show that apple vinegar residue has significant potential for bioenergy production.

Key words: Apple vinegar waste. Pyrolysis kinetics. Bioenergy.

1 Introduction

In Brazil, a large portion of energy consumption still relies on fossil fuels, contributing to high greenhouse gas emissions. While 40.5% of the energy matrix is renewable–led by sugarcane biomass (14.17%), hydroelectric source (9.36%), and firewood/charcoal (6.93%) (BEN, 2024)–it lacks diversification. Despite abundant biomass resources from agriculture and agro-industry, much remains underutilized.

The 2030 Agenda for Sustainable Development (2015) established 17 goals, including SDGs 7 and 13, focusing on climate change mitigation and clean energy access, urging a transition to renewables. Biomass conversion into usable energy is essential, with thermochemical processes like pyrolysis offering energy-rich products such as bio-oil, biochar, and pyrolytic gas. Pyrolysis breaks down biomass in an inert atmosphere, releasing carbon-rich compounds (Basu, 2013).

Optimizing thermochemical processes requires understanding the kinetic behavior of the reactions involved. Using thermogravimetric analysis data, kinetic parameters such as activation energy, pre-exponential factor, and reaction model–collectively known as the "kinetic triplet"– can be determined through mathematical methods (Vyazovkin, 2011).

According to the United States Department of Agriculture (USDA, 2024), global apple production in 2023/2024 reached 84.32 million metric tons, with Brazil contributing 1.05 million metric tons. Apple pomace, a byproduct of apple processing, accounts for 25–35% of fresh weight (Evcan & Tari, 2015). Based on Brazil's production, 262,500 metric tons of apple pomace could be generated, highlighting the need for effective residue management. This biomass can be repurposed for biofuel production, contributing to renewable energy.

This study aims to characterize and evaluate the non-isothermal kinetic behavior of apple pomace, an agro-industrial residue from apple vinegar production, during pyrolysis. This biomass's potential

for renewable energy generation is analyzed by assessing the process's kinetic parameters using different isoconversional models.

2 Methodology

2.1 Sample preparation, physicochemical characterization, and pyrolysis tests

The biomass studied was apple pomace (AP) from vinegar production sourced from Rio das Antas, Santa Catarina, Brazil. As received, the sample was oven-dried at 105°C for 24 h, ground, and sieved to < 250 μm (Marchese *et al.* 2024). Physicochemical properties were evaluated for its biofuel potential, including proximate and ultimate analysis, bulk density, and heating values. Analyses were performed in triplicate, with results presented as averages and standard deviations.

Bulk density was determined using a 5 mL graduated cylinder according to ASTM E873-82 (ASTM, 2013). Proximate analysis was conducted in a muffle furnace model 2000F.2MRP from Zezimaq (Brazil) following standards CEN/TS 14775 for volatile matter and CEN/TS 15148 for ash (CEN/TS, 2004; 2005). Fixed carbon content was calculated using the difference (dry basis). The ultimate analysis was carried out in the EA1108 Elemental Analyzer from Fisons Instruments (UK) to determine carbon, hydrogen, sulfur, and nitrogen. Oxygen content was calculated using the difference (dry basis). The atomic ratios of O/C and H/C were calculated, which are critical for assessing the biomass energy value. The high heating value (HHV) was found using an adiabatic calorimetric bomb model C1 RC2 Basic from Ika (USA) and the standard NBR 11956/90 (ABNT, 1990). The low heating value (LHV) was calculated by discounting the energy needed for water vaporization.

The pyrolysis experiments were conducted in a Thermogravimetric Analyzer (TGA) model Q600 from TA Instruments (USA). Tests were made at atmospheric pressure, using a nitrogen flow of 100 mL min^{-1} and a sample mass of 10±0.5 mg. Non-isothermal kinetics was studied at four heating rates (5, 10, 25, and 40°C min^{-1}) up to a final temperature of 900°C (Marchese *et al.* 2024). All tests were duplicated to verify the curves' consistency and minimize errors caused by sample heterogeneity.

2.2 Kinetics modeling

Thermal evaluation refers to the conversion rate of a substance as its compounds break down into smaller molecules during the reaction. The transformation rate is obtained by Eq. 1 and is expressed in terms of temperature (T) and conversion (α) (Fogler, 2022).

$$(1)\quad \frac{d\alpha}{dt} = k(T) \times f(\alpha)$$

Here, t is time, k(T) is the temperature-dependent rate constant, and f(α) is the kinetic reaction model function. The value of α (from 0 to 1) is calculated by Eq. 2, where m_0, m_∞, and m_t are the initial, final, and instantaneous masses of the solid in mg, respectively. k(T) is obtained using the Arrhenius correlation (Eq. 3), where A is the pre-exponential factor (min^{-1}), E_a is the activation energy (kJ mol^{-1}), and R is the gas constant (8.314 J $mol^{-1}1$ K^{-1}).

$$(2)\quad \alpha = \frac{(m_0 - m_t)}{(m_0 - m_\infty)}$$

$$(3)\quad k(T) = A \times exp\left(\frac{-E_a}{R \times T}\right)$$

By combining Eq. 1 and 3, we derive Eq. 4, which characterizes thermal decomposition as a function of time. For non-isothermal processes with a constant heating rate (β = dT/dt), the conversion rate becomes a function of temperature. The literature reports mathematical models in either differential (Eq. 4) or integral (Eq.5) forms. The integral of the reaction model, g(α), lacks an analytical solution, leading to the development of diverse mathematical models to determine the kinetic parameters for gas-solid heterogeneous reactions.

$$(4)\quad \frac{d\alpha}{dT} = \frac{A}{\beta} \times e^{\frac{-E_a}{RT}} \times f(\alpha)$$

$$(5)\quad g(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{f(a)} = \frac{A}{\beta}\int_{T_0}^{T} e^{-\frac{E_a}{RT}} dT$$

Isoconversional or free-model methods allow for determining the activation energy without prior knowledge of the reaction model and the pre-exponential factor. Among the various isoconversional methods developed, we chose to evaluate three integral types (Table 1): Flynn-Wall-Ozawa (FWO), Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), and Starink

(STK). Activation energy was obtained from the slope of each method's graph.

Table 1 – Isoconversional methods for activation energy determination

Method	Equation	Graphic	Reference
FWO	$\log\beta \cong \log\left[\frac{AE_a}{Rg(\alpha)}\right] - 2.315 - 0.4567\frac{E_a}{RT}$	$log(\beta)\ x\ 1/T$	Flynn & Wall (1966)
KAS	$ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = ln\left(\frac{AR}{E_a g(\alpha)}\right) - \frac{E_a}{RT}$	$ln(\beta/T^2)\ x\ 1/T$	Kissinger (1956)
STK	$ln\left(\frac{\beta}{T^{1,92}}\right) = ln\left(\frac{AR}{E_a}\right) + 1.0008\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$	$ln(\beta/T^{1,92})\ x\ 1/T$	Starink (2003)

The pre-exponential factor values were determined using the standard ASTM E698-18 (ASTM, 2018) by rearranging the KAS method, assuming a first-order reaction, i.e., g(α)=−1. In Eq. 6, T_m is the peak temperature observed in the thermogravimetric curve's first derivative (DTG).

(6) $$A = \frac{E_a \beta}{RT_m^2} e^{E_{a/RT_m}}$$

The pyrolysis temperature range was selected based on the second derivative of the TG curve (DDTG), where the initial and final decomposition points were identified (170°C and 450°C, respectively). The kinetic parameters were calculated within the conversion range of 0.2-0.8. The experimental data was obtained using the TA Instruments software and processed using Microsoft Excel software.

3 Results and discussions

3.1 Biomass properties

The physicochemical characterization results for AP are presented in Table 2. The bulk density of 608.80 ± 10.54 kg m^{-3} is similar to that of açaí seed (589.45 kg m^{-3}) (Alves *et al.*, 2021) and cocoa shell (581.25 kg m^{-3}) (Mumbach *et al.*, 2022), but higher than that of sugarcane bagasse (103.94 kg m^{-3}) (Protássio *et al.*, 2013). A high bulk density typically reduces storage, handling, and transportation costs, making AP biomass advantageous.

Table 2 – Results for physicochemical characterization of apple pomace

Proximity analysis (wt.% db.)		**Ultimate analysis (wt.% db.)**	
Volatile matter (VM)	82.71 ± 0.12	Carbon	41.47 ± 0.02
Fixed carbon (FC)	14.97 ± 0.17	Hydrogen	5.19 ± 0.03
Ash	2.32 ± 0.05	Oxygen	50.28 ± 0.15
VM/FC	5.53 ± 0.07	Nitrogen	0.74 ± 0.05
Heating value (MJ kg^{-1})		Sulfur	0.00 ± 0.00
HHV	17.52 ± 0.00	H/C	1.49 ± 0.00
LHV	16.38 ± 0.00	O/C	0.91 ± 0.00
Bulk density (kg m^{-3})	608.80 ± 10.54		

The proximate analysis of AP revealed a low ash content (2.32 wt.%), characteristic of lignocellulosic biomasses. This result is crucial for reducing slag buildup in thermal processes, thereby lowering maintenance costs. AP also exhibited a high VM content (82.71 wt.%), facilitating easier ignition at lower temperatures than fossil coals (Domenico *et al.*, 2018). This characteristic enhances the energy conversion process and improves biochar reactivity in applications such as gasification and combustion (Pacioni *et al.*, 2016). Moreover, compared to lignocellulosic residues used for energy recovery, AP offers distinct advantages, e.g., sugarcane bagasse and rice husk exhibit lower VM content of 76.92 wt.% and 73.00 wt.%, higher ash content of 7.9 wt.% and 13.7 wt.%, and comparable FC content of 15.18 wt.% and 13.3 wt.%, respectively (García *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2020). The VM/FC ratio of 5.53 in AP indicates higher reactivity, reducing the biomass residence time inside the reactor. This value is particularly favorable compared to fossil coals, which typically have low VM content and VM/FC ratios below 1 (Domenico *et al.*, 2018).

The ultimate analysis revealed that AP has a high C content (41.47 wt.%) and low S, N, and ash levels–highly desirable characteristics for energy applications. The S and N contents align with the values reported for apple pomace biomass by Pacioni *et al.* (2016) (S < 0.1 wt.% and N = 3 wt.%). Low concentrations of these elements help mitigate equipment corrosion and reduce the emission of pollutant gases (SO_x and NO_x). Additionally, the H/C and O/C ratios for AP were

1.49 and 0.91, respectively, indicating lower CO_2 emissions and a high-energy profile with efficient conversion. These results are consistent with the findings of Alves et al. (2020), who reported H/C and O/C

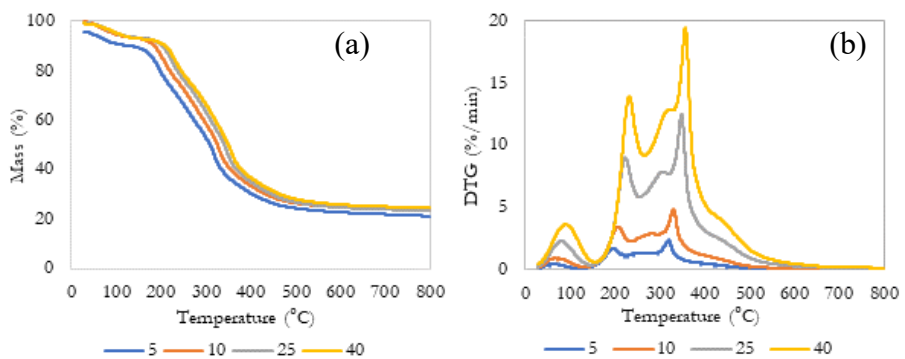
ratios of 1.58 and 0.60, respectively, for apple pomace from the juice industry.

The HHV obtained for AP was 17.52 MJ kg^{-1}, close to those reported by Pacioni *et al.* (2016) (17.53 MJ kg^{-1}) and Alves *et al.* (2020) (18.72 MJ kg^{-1}) for apple juice pomace. These values fall within the fossil coal range (16–34 MJ kg^{-1}) (Domenico *et al.*, 2018), demonstrating some biomass types' high thermochemical conversion potential. The LHV of 16.38 MJ kg^{-1} equals that reported by Alves *et al.* (2020).

The thermogravimetric (TG) and its derivative (DTG) curves for the pyrolysis of AP at four heating rates are presented in Figures 1a and 1b, respectively. In Figure 1a, it can be observed that higher β shifts thermal decomposition to higher temperatures due to reduced residence time, while in Figure 1b, it enhances DTG peak intensities as higher thermal energy availability accelerates heat transfer to the particles.

The analysis of the graphs reveals an initial mass loss of up to ~150°C, corresponding to the evaporation of residual moisture in AP. Beyond this, lignocellulosic decomposition (or breaking down) occurs: hemicellulose between 197–327°C, cellulose between 277–427°C, and lignin between 277–527°C (Guerrero *et al.*, 2014). In Figure 1b, distinct peaks at 212.62°C and 339.40°C likely correspond to hemicellulose and cellulose decomposition, respectively, while a gradual decline after 400°C suggests lignin degradation. After 500°C, the reaction rate slows significantly, with no substantial mass loss related to pyrolysis.

Figure 1 – TG(a) and DTG(b) curves for the pyrolysis of apple pomace at four heating rates



3.2 Determination of kinetic parameters

The fitting of TGA data to the FWO, KAS, and STK models is shown in Figures 2a, 2b, and 2c, respectively. The average E_a and R^2 across the entire conversion range were 166.85 kJ mol^{-1} and 0.9995 (FWO); 165.95 kJ mol^{-1} and 0.9994 (KAS); and 166.20 kJ mol^{-1} and 0.9994 (STK). Silva *et al.* (2018) studied reforestation wood residues and obtained E_a values ranging from 140-147 kJ mol^{-1}, 132-145 kJ mol^{-1}, and 137-145 kJ mol^{-1} for the same methods, respectively. Guerrero *et al.* (2014) found 137 and 145 kJ mol^{-1} for apple pomace from the juice industry using the FWO and KAS methods.

Figure 3 shows that E_a increases with α, indicating AP pyrolysis occurs through multiple reactions, making it a highly complex process. This increase results from the greater difficulty in breaking the chemical bonds of larger molecules during pyrolysis, particularly lignin, which decomposes at higher temperatures. The conversion range used to evaluate pyrolysis in this study (0.2-0.8) helped to minimize the error. For conversions above 80%, there is a considerable increase in E_a associated with secondary pyrolysis reactions, which demands a high energy.

The average value of pre-exponential factor found for AP was $1.51 \cdot 10^{16}$ min^{-1}, higher than those obtained for common lignocellulosic biomasses such as sugarcane bagasse with $4.73 \cdot 10^{10}$ min^{-1} and reforestation wood residues with $4.64 \cdot 10^{10}$ min^{-1} (Pinus) and $1.37 \cdot 10^{10}$ min^{-1} (Eucalyptus) (Silva *et al.*, 2018; 2020). This result can disadvantage AP since greater energy is needed to generate the activated complex and produce the pyrolysis products. Still, values of A greater than 10^9 min^{-1} suggest that the pyrolysis conversion occurs in a relatively uniform and simpler chemical reaction (Alves *et al.*, 2021).

Figure 2 – Pyrolysis kinetics results for apple pomace using FWO(a), KAS(b), and STK(c) models

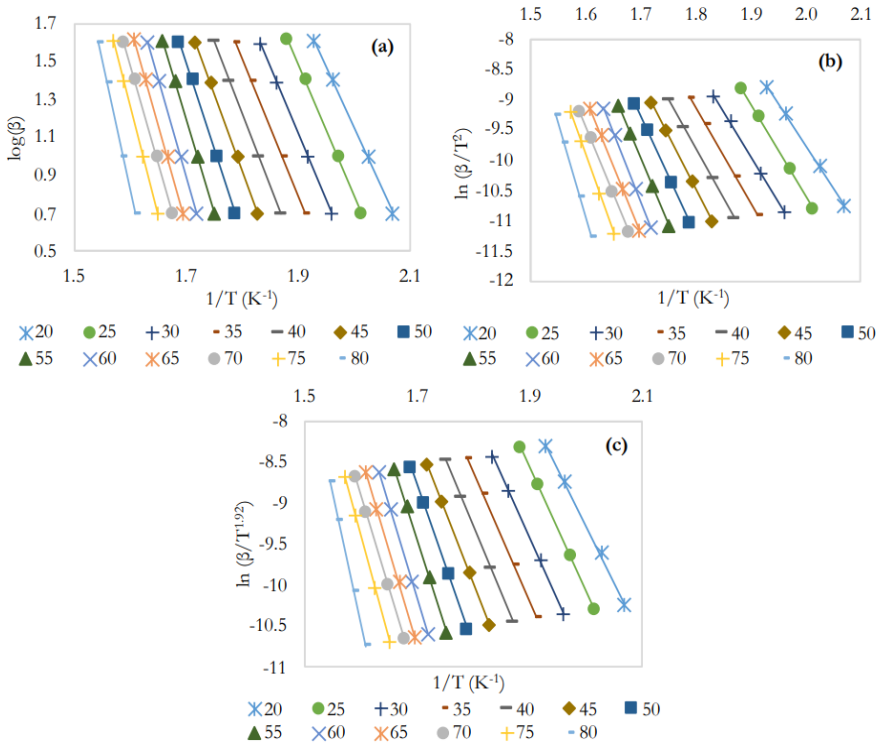
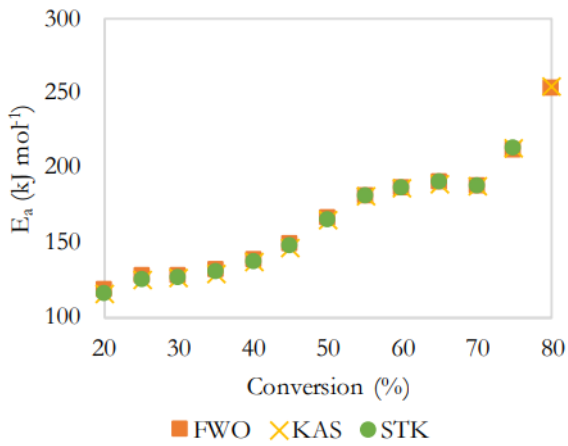


Figure 3 – Progress of activation energy as a function of conversion for FWO, KAS, and STK models



4 Conclusions

To establish apple vinegar residue as a viable bioenergy feedstock, we analyzed its physicochemical properties and pyrolysis characteristics (thermal decomposition behavior and kinetic parameters). The characterization shows that apple pomace is a promising biomass for bioenergy production, with a notably high heating value (17.52 MJ kg^{-1}), a high volatile matter content (82.71 wt.%), and low sulfur and nitrogen levels. The average activation energy for the pyrolysis process estimated by the isoconversional methods of FWO, KAS, and STK were 166.85, 165.95, and 166.20 kJ mol^{-1}, respectively, within the conversion range of 0.20-0.80. The pre-exponential factor value obtained from the Kissinger method showed an order of magnitude > 10^9 min^{-1}, indicating a relatively uniform and simpler chemical reaction pathway. Comparing these results with existing literature shows that apple pomace holds substantial potential for bioenergy conversion applications.

References

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11956: coque: determinação do poder calorífico superior: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990. 6 p.

ALVES, J. L. F. A. *et al.* Exploring Açaí seed (Euterpe oleracea) pyrolysis using multi-component kinetics and thermodynamics assessment towards its bioenergy potential. BioEnergy Research, v. 14, p. 209-225, 2021.

ALVES, J. L. F. *et al.* Lignocellulosic Residues from the Brazilian Juice Processing Industry as Novel Sustainable Sources for Bioenergy Production: Preliminary Assessment Using Physicochemical Characteristics. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 31, n. 9, p. 1939– 1948, 2020.

Apples|USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0574000. Acesso em: 28 jan. 2025.

ASTM E698-18: Kinetic parameters for thermally unstable materials using differential scanning calorimetry and the Flynn/Wall/Ozawa method; ASTM International, West Conshohocken, pp 1–9.

ASTM E873-82: Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels; ASTM International: West Conshohocken, PA, 2013.

BASU, Prabir. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory. Academic press, 2018.

Balanço Energético Nacional (BEN) 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico- nacional-2024. Acesso em: 28 jan. 2025.

CEN/TS 14775:2004. European Committee for Standardization. Solid biofuels – Method for the determination of ash content (English Version). August 2004.

CEN/TS 15148:2005. European Committee for Standardization. Solid biofuels – Method for the determination of the content of volatile matter (English Version). December 2005.

DOMENICO, M. D. *et al.* Gasification of Brazilian coal-chars with CO_2: effect of samples properties on reactivity and kinetic modeling. Chemical Engineering Communications, v. 206, p. 1–11, 2018.

EVCAN, E.; TARI, C. Production of bioethanol from apple pomace by using cocultures: Conversion of agro-industrial waste to value added product. e, v. 88, p. 775–782, 2015.

FLYNN, Joseph H.; WALL, Leo A. A quick, direct method for the determination of activation energy from thermogravimetric data. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters, v. 4, n. 5, p. 323-328, 1966.

FOGLER, H. S. Elementos de Engenharia das Reações Químicas. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

GARCÍA, R. *et al.* Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. Bioresource technology, v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.

GUERRERO, M. R. B. *et al.* Thermogravimetric study on the pyrolysis kinetics of apple pomace as waste biomass. International Journal of Hydrogen Energy, v. 39, p. 16619–16627, 2014.

KISSINGER, H. E. Variation of Peak Temperature With Heating Rate In Differential Thermal. Analysis Journal of Research of the National Bureau of Standards, v. 57, p. 217–221, 1956.

MARCHESE, L. *et al.* Exploring bioenergy prospects from malt bagasse: Insights through pyrolysis with multi-component kinetic analysis and thermodynamic parameter estimation. Renewable Energy, v. 226, p. 120453, 2024.

MUMBACH, G. D. *et al.* Pyrolysis of cocoa shell and its bioenergy potential: evaluating the kinetic triplet, thermodynamic parameters, and evolved gas analysis using TGA-FTIR. Biomass Conversion and Biorefinery, v. 12, p. 723–739, 2022.

PROTÁSIO T. P. *et al.* Brazilian Lignocellulosic Wastes for Bioenergy Production: Characterization and Comparison with Fossil Fuels. BioResourses, v. 8, p. 1166–1185, 2013.

PACIONI, T. R. *et al.* Bio-syngas production from agro-industrial biomass residues by steam gasification. Waste management, v. 58, p. 221–229, 2016.

SILVA, J. C. G. *et al.* Single-step and multi-step thermokinetic study – Deconvolution method as a simple pathway for describe properly the biomass pyrolysis for energy conversion. Energy Conversion and Management, v. 209, p. 112653, 2020.

SILVA, J. C. G. *et al.* Pyrolysis kinetic evaluation by single-step for waste wood from reforestation. Waste Management, v. 72, p. 264-273, 2018.

STARINK, M. J. The determination of activation energy from linear heating rate experiments: A comparison of the accuracy of isoconversion methods. Thermochimica Acta, v. 404, p. 163–176, 2003.

NATIONS, United. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, v. 1, p. 41, 2015.

VYAZOVKIN, S. *et al.* ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. Thermochimica Acta, v. 520, p. 1–19, 2011.

Uso de revestimento comestível a base de pectina contendo óleo essencial de *Cymbopogom citratus* na conservação pós colheita de morangos frescos

Marcia Regina Pansera [1], Wendel Paulo Silvestre [2], Valdirene Camatti Sartori [3], Murilo Cesar dos Santos[4], Gabriel Fernandes Pauletti [5]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (mrpancer@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (wpsilvestre@ucs.br)*
[3] *Universidade de Caxias do Sul (vcsartor@ucs.br)*
[4] *Universidade de Caxias do Sul (mcsantos3)*
[5] *Universidade de Caxias do Sul (gfpauletti@ucs.br)*

Resumo: Revestimentos comestíveis são comumente utilizados, pois minimizam perdas pós-colheita e prolongam a vida útil dos frutos. A pectina é um polissacarídeo complexo, com estrutura ramificada, encontrado na parede celular vegetal. É um carboidrato branco comercialmente disponível e barato, amplamente utilizado em revestimentos de frutas. Além disso, os revestimentos à base de pectina têm baixa permeabilidade aos gases. Eles formam uma barreira e impedem a troca gasosa, o que ajuda a preservar o aroma e retardar a perda de umidade. Neste estudo, analisou-se o efeito da aplicação de revestimento comestível à base de pectina com o óleo essencial de *Cymbopogom citratus* em morangos pós-colheita, visando avaliar o controle de antracnose (*Colletotrichum acutatum*) e mofo cinzento (*Botrytis cinerea)*. Foram elaborados revestimentos comestíveis à base de pectina com e sem o óleo essencial, sendo utilizadas oito formulações diferentes (controle sem revestimento de pectina, controle com pectina, 0,10 %, 0,15 %, 0,20 %, 0,30 %, 0,40 %, 0,50 %) e realizado o teste preventivo com morango. Após a incubação, a severidade da doença foi avaliada e a área superficial de decomposição no fruto foi avaliada visualmente em uma escala de zero a 100 %. Os resultados indicaram que as maiores concentrações do óleo essencial, ao que se referem os tratamentos 0,30 %, 0,40 % e 0,50 %, foram capazes de reduzir a incidência de *C. acutatum* e *B. cinerea* quando comparadas ao controle. Pode-se concluir que bio-revestimentos, especialmente aqueles que contem óleo essencial, podem ser usados como materiais de revestimento antimicrobianos à base de derivados botânicos para preservar morangos frescos durante o armazenamento.

Palavras-chave: *Colletotrichum acutatum*. *Botrytis cinerea*. *Fragaria x ananassa Duch*.

Use of pectin-based edible coating containing Cymbopogom citratus *essential oil in post-harvest preservation of fresh strawberries*

Abstract: Edible coatings are commonly used to minimize postharvest losses and extend the shelf life of fruits. Pectin is a complex polysaccharide with a branched structure found in plant cell walls. It is a commercially available and inexpensive white carbohydrate widely used in fruit coatings. In addition, pectin-based coatings have low gas permeability. They form a barrier and prevent gas exchange, which helps preserve aroma and delay moisture loss. In this study, the effect of applying pectin-based edible coating with Cymbopogom citratus essential oil on postharvest strawberries was analyzed, aiming to assess the control of anthracnose (Colletotrichum acutatum) and gray mold (Botrytis cinerea). Edible pectin-based coatings with and without essential oil were prepared, using eight different formulations (control without pectin coating, control with pectin, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.30%, 0.40%, 0.50%) and the preventive test was performed with strawberries. After incubation, the severity of the disease was evaluated and the surface area of decomposition in the fruit was visually assessed on a scale of zero to 100%. The results indicated that the highest concentrations of essential oil, which refer to the treatments 0.30%, 0.40%, 0.50%, were able to reduce the incidence of C. acutatum and B. cinerea when compared to the control. It can be concluded that bio-coatings, especially those containing essential oil, can be used as plant-based antimicrobial coating materials to preserve fresh strawberries during storage.

Key words: *Colletotrichum acutatum*. *Botrytis cinerea*. *Fragaria x ananassa Duch*

Introdução

O desenvolvimento de filmes contendo polímeros biodegradáveis combinados com aditivos naturais é uma tecnologia promissora na indústria alimentícia. Celulose, amido, quitosana, carragenina, alginato, goma arábica e pectina são os componentes biodegradáveis mais utilizados em matrizes de filmes com potencial uso na indústria de alimentos. Os filmes à base de pectina são baratos e sua renovabilidade e sustentabilidade os tornam materiais de "embalagem verde" (Eça *et al.*, 2015).

Além disso, o FDA (Food and Drug Administration) considera a pectina geralmente segura (GRAS). Portanto, esse polímero pode ser usado como filmes e revestimentos comestíveis de baixa caloria (FDA, 2013). Os filmes e revestimentos de pectina apresentam regiões cristalinas e/ou amorfas, adequadas para incorporação de compostos fitoquímicos e para imobilização de água na estrutura do filme, para

permitir a retenção de compostos hidrofílicos (Roy, 2023). De fato, a incorporação de extratos naturais, vitaminas, corantes, sabores e especiarias em filmes e revestimentos de pectina pode fornecer propriedades antimicrobianas, nutritivas e antioxidantes (Rajat, 2020). Esses chamados filmes ativos preservam a qualidade, integridade e segurança dos produtos alimentícios durante o armazenamento. Ao longo do tempo, a oxidação de moléculas orgânicas provoca diversas alterações indesejáveis nas propriedades dos alimentos, como diminuição da qualidade nutricional e alteração do sabor (Bajpai *et al.*, 2020).

As principais causas da deterioração pós-colheita causada por armazenamento inadequado, logística de transporte e contaminação por pragas, insetos e fungos são perda de nutrientes, decomposição da clorofila, oxidação do substrato, amolecimento da parede celular e penetração da membrana (Hua *et al.*, 2018). O valor nutricional pode variar dependendo da temperatura, umidade e composição do ar. A perda de peso é causada pela perda de água, o que afeta diretamente a aparência da fruta. Nesses casos, os revestimentos comestíveis podem atuar como uma barreira semipermeável, reduzindo a transferência de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, lipídios e componentes aromáticos e nutricionais entre a fruta e o ambiente (Kumar *et al.*, 2023), o que, por sua vez, pode aumentar a vida útil da fruta.

O morango (Fragaria x ananassa Duch.) é uma das frutas mais perecíveis, necessitando de cuidados desde a colheita até a chegada ao consumidor. O morangueiro se mostra muito sensível à falta d´água, baixa umidade do ar e temperaturas elevadas. É considerado uma fruta não climatérica, sendo de difícil conservação devido à rápida degradação provocada pela intensa atividade metabólica (Sharma *et al.*, 2022). Os morangos são ricos em moléculas bioativas, especialmente flavonoides, taninos e ácidos fenólicos e vitamina C, que apresentam atividade antioxidante (Crescente *et al.*, 2024).

No entanto, a alta perecibilidade destes frutos está muitas vezes relacionada à incidência de podridões, que afetam diretamente o produto comercial, causando danos qualitativos e quantitativos (Pérez-Rojas *et al.*, 2023) e reduzindo a produtividade final e qualidade. Dentre as principais doenças que promovem perdas na produção no campo e na pós-colheita do morango, destaca-se a antracnose, causada pela espécie Colletotrichum acutatum, e o mofo cinzento, causado por Botrytis cinerea.

As medidas de controle dessas doenças baseiam-se principalmente em pulverizações de fungicidas químicos na pré-colheita, e associadas à grande sensibilidade dos frutos e sua importância, essas aplicações são repetidas e intensificadas (Primiano *et al.*, 2017). Na busca por novos produtos com potencial atividade biológica, muito esforço tem sido dedicado à extração e identificação de produtos naturais e metabólitos secundários produzidos por plantas, sendo os óleos essenciais uma das linhas mais estudadas ultimamente.

Nesse sentido, o uso de óleos essenciais é uma alternativa para aumentar a vida útil dos frutos devido à atividade antimicrobiana e baixo risco de desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos, resultantes da composição complexa dos óleos essenciais e seus diferentes mecanismos de ação sobre os organismos-alvo (Rehman *et al.*, 2016). Os óleos essenciais são classificados pelo FDA como seguros para uso em alimentos, com crescente interesse em utilizá-los no tratamento de frutas e hortaliças a campo e na etapa de pós-colheita e distribuição (Kawhena *et al.*, 2021).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a aplicação do revestimento comestível à base de pectina com o óleo essencial de Cymbopogom citratus em morangos pós-colheita. A proposta alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contemplando saúde e bem estar (nº 3), trabalho digno e crescimento econômico (nº 8), indústria e inovação (nº 9), cidades sustentáveis (nº 11), consumo responsável (nº 12), preservação da vida aquática (nº 14) e terrestre (nº 15), além de promover parcerias globais para alcançar essas metas (nº 17).

Materiais e Métodos

Os frutos de morango, da variedade San Andreas, foram adquiridos em Otávio Rocha/Flores da Cunha, RS. Os frutos foram desinfetados superficialmente por imersão por 1 min em uma sequência de soluções (álcool 70 % v/v, hipoclorito de sódio 1,0 % v/v e lavados em água destilada estéril), conforme proposto por Fontana *et al.* (2021).

Preparação da cobertura comestível

Para a preparação dos revestimentos, utilizou-se pectina comercial proveniente de cascas de frutas cítricas (Marca Êxodo Científica, grau de esterificação de 60 – 86 %). Decidiu-se utilizar pectina de frutas

cítricas devido ao menor preço e facilidade de obtenção frente a otros tipos de pectina. Os revestimentos foram produzidos pela dissolução de pectina a uma concentração constante de 3,0 % (m/v) em água destilada a 40 °C. A solução foi homogeneizada com um agitador mecânico a 500 rpm por 60 min usando glicerol como plastificante (20 % m/m). Todos os testes foram realizados utilizando glicerol como plastificante. Em seguida, concentrações pré-determinadas de óleo essencial foram adicionadas a 500 mL da solução de pectina + glicerol (Flores *et al.*, 2023).

Extração de óleos essenciais e análise da composição química

O óleo essencial de C. citratus (D.C.) Stapf, foi extraído das folhas secas de plantas cultivadas nas cidades Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

A extração do óleo essencial foi realizada por arraste a vapor durante 2 h e, posteriormente, foi realizada a análise cromatográfica para elucidação da composição química. Os óleos essenciais foram analisados qualitativamente por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) e quantitativamente por cromatografia gasosa com detector de ionização em chama (CG-DIC) (Pansera *et al.*, 2023).

Aplicação de revestimentos comestíveis à base de pectina

Foram elaborados revestimentos comestíveis à base de pectina com e sem o óleo essencial, sendo utilizadas oito formulações diferentes, de acordo com a Tabela 1.

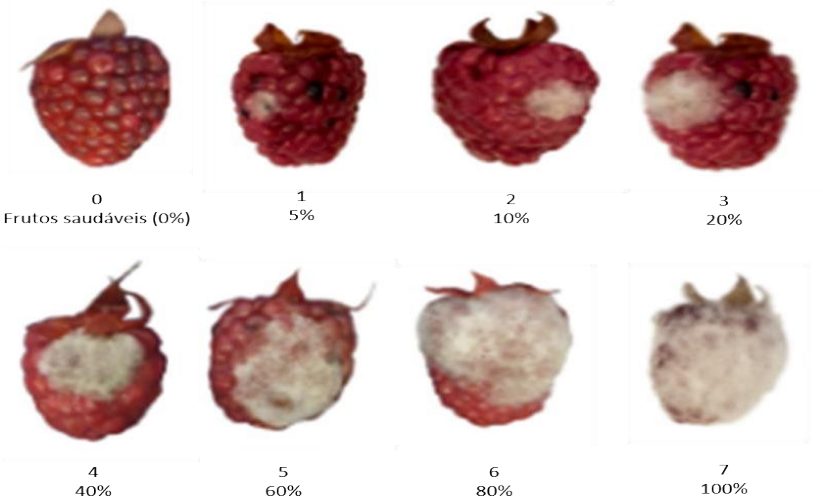
T1	Controle sem revestimento	T5	Pectina + 0,20% v/v de oe
T2	Revestimento de pectina	T6	Pectina + 0,30% v/v de oe
T3	Pectina + 0,1% v/v de óleo essencial (oe)	T7	Pectina + 0,40% v/v de oe
T4	Pectina + 0,15% v/v de oe	T8	Pectina + 0,50% v/v de oe

Foi realizado o teste preventivo, ou seja, foi lavado o fruto na solução de pectina mais óleo essencial. Quatro horas depois, foi colocado uma alíquota de 10 µL de uma suspensão com $1 \cdot 10^5$ esporos·mL^{-1} de C. acutatum, e $6 \cdot 10^4$ esporos·mL^{-1} de B. cinerea na região equatorial do fruto. Os frutos do tratamento controle foram lavados com água destilada estéril.

O delineamento experimental utilizado para o tratamento dos morangos em pós-colheita foi o inteiramente casualizado, com 24 repetições por tratamento, sendo cada fruto considerado uma unidade experimental.

Os frutos foram acondicionados em caixas plásticas (30 cm x 10 cm x 13 cm) e incubados a 10±1 °C e 80 – 90 % de umidade relativa, com fotoperíodo de 12 h durante cinco dias. Após a incubação, a severidade da doença foi avaliada e a área superficial de decomposição no fruto foi avaliada visualmente em uma escala de zero a 100 %, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Escala diagramática para medir a gravidade da doença em frutos de amora, aplicável também para avaliação de morangos (Arias *et al.*, 2020)



Resultados e discussão

O óleo essencial de C. citratus apresentou como compostos majoritários o neral (34,77 %) e geranial (48,77 %) que, juntos, formam o citral (83,54 %) e, depois, o mirceno (10,89 %). Também foi possível observar que o óleo essencial apresentou monoterpenos oxigenados como a principal classe química, com teores de 89,90 % em massa.

A qualidade do capim-limão é geralmente determinada pelo seu conteúdo de citral. O citral consiste nos isômeros cis (geranial) e trans (neral) (Da Silva *et al.*, 2020). Huong *et al.* (2024) relatam que essas misturas apresentam uma diversidade multifacetada de substâncias químicas, cada uma desempenhando um papel específico na contribui-

ção dos aromas característicos e nas potenciais atividades biológicas inerentes a esses óleos.

Como esperado, a adição do óleo de C. citratus inibiu o crescimento de fungos nos frutos durante o armazenamento. A eficácia antifúngica do óleo essencial foi avaliada visualmente através da escala diagramática de zero a 100 % dos frutos infectados pelos fitopatógenos em relação ao número total de frutos da amostra. A incidência de deterioração fúngica em morangos foi maior no grupo controle do que nos frutos revestidos com a pectina e o óleo essencial.

As maiores concentrações do óleo essencial, ao que se referem os tratamentos T6, T7 e T8, foram capazes de reduzir a incidência das doenças antracnose (C. acutatum) e mofo cinzento (B. cinerea) quando comparadas ao controle (sem aplicação do óleo essencial -T1 e revestimento com pectina -T2). Os dados referentes à incidência podem ser observados na Tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Incidência (%) dos fitopatógenos *Colletotrichum acutatum* e *Botrytis cinerea* em morangos tratados com concentrações crescentes do óleo essencial de *Cymbopogom citratus*

Tratamentos	**Concentrações (% v/v de óleo essencial)**	**Fitopatógenos**	
		C. acutatum	*B. cinerea*
T1	Controle sem revestimento	80,0±2,0 a	80,0±2,8 a
T2	Revestimento de pectina	65,2±10,7 b	65,2±10,7 b
T3	Pectina + 0,1	70,0±9,8 b	70,7±8,6 b
T4	Pectina + 0,15	68,8±9,5 b	69±11,6 b
T5	Pectina + 0,20	66,2±8,4 b	67,4±9,8 b
T6	Pectina + 0,30	0,0±0,0 c	0,0±0,0 c
T7	Pectina + 0,40	0,0±0,0 c	0,0±0,0 c
T8	Pectina + 0,50	0,0±0,0 c	0,0±0,0 c
Coeficiente de variação (%)		35,09	36,84

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

A incidência da deterioração fúngica em morangos aumentou durante o armazenamento e foi maior nos frutos controle do que nos frutos revestidos. Segundo Oliveira Filho *et al.* (2022), o revestimento de cera de carnaúba com óleo essencial de Mentha spicata e óleo de *Cymbopogom martinii*, exerceram forte atividade antimicrobiana contra

os principais fungos causadores de doenças em morangos pós-colheita (R. stolonifer, C. acutatum e B. cinerea).

Segundo Yan *et al.* (2021), a exposição dos morangos aos vapores dos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*, *Thymus vulgraris* e *Origanum heracleoticum* em embalagem comercial reduziu a incidência de mofo cinzento, com os óleos essenciais de *T. vulgaris* e *O. heracleoticum* apresentando forte eficiência e redução do índice de doenças em 53,85 % e 57,69 %, respectivamente. Experimentos *in vivo* comprovaram o efeito inibitório desses três óleos essenciais no mofo cinzento do morango, sugerindo esses óleos como potenciais alternativas aos fungicidas químicos no manejo da decomposição pós-colheita de frutas e vegetais causados por este fitopatógenos. Resultados semelhantes foram relatados por Chu *et al.* (2020) em morangos tratados com revestimentos de nanoemulsão de pululano contendo óleo essencial de canela e Xue *et al.* (2022) em morangos revestidos com nanocomplexos de fitoglicogênio/zeína contendo timol.

Conclusão

Observou-se que a adição da pectina com o óleo essencial de *Cymbopogom citratus* reduziu significativamente o desenvolvimento das doenças mofo cinzento e antracnose, com o aumento da concentração. Este resultado não só pode ter um impacto na qualidade do produto, mas também representa um aspecto econômico significativo para a agricultura, o que indica ser promissor do ponto de vista da redução do desperdício de alimentos, redução no emprego de produtos sintéticos e melhoria da qualidade e valor nutricional dos alimentos.

Referências

ARIAS, S, M,, ÁLVAREZ, G, E, G,, & PATIÑO, P, A, G, Diagrammatic scale for measuring severity of gray mould in thornless Castilla blackberry (*Rubus glaucus* Benth), **Ciência Rural**, v. 50(11), 2020, p. e20190859.

BAJPAI, SUNIL NAVIN CHAND, R. LODHI. Water sorption properties and antimicrobial action of zinc oxide nano particles loaded sago starch film. **Journal of Microbiology**, Biotechnology and Food Sciences, v. 2 (4), 2020, p. 2368-2387.

CHU, Y,C. GAO, X. LIU, N. ZHANG, T. XU, X. FENG, Y. YANG, X. SHEN, X. TAN. Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. **Food Sci. Technol**., v. 122, 2020.

CRESCENTE G, CASCONE G, VOLPE MG, MOCCIA S. Application of PLA-Based Films to Preserve Strawberries' Bioactive Compounds, **Foods,** Jun v. 13(12), 2024, p. 1844.

DA SILVA LC, DE SOUZA PWM, SÁ FA, DE SOUZA MAA, DE OLIVEIRA BBR, SANAVRIA A, SANTOS HA, MARIE-MAGDELEINE C, DA COSTA A I. In vitro acaricidal activity of *Cymbopogon citratus, Cymbopogon nardus* and *Mentha arvensis* against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Exp Parasitol**. Sep; v. 216, 2020, p. 107937.

EÇA KS, MACHADO MT, HUBINGER MD, MENEGALLI FC. Development of Active Films From Pectin and Fruit Extracts: Light Protection, Antioxidant Capacity, and Compounds Stability. **J Food Sci.** v. 80(11), 2015, p. 2389-96.

FLORES, K. S. U., OLIVEIRA, I. G. S., SOUZA, V. N. B. D., GARCIA, V. A. D. S., ALTEMIO, Â. D. C., MARTELLI, S. M. Pectin-based edible coating containing gibberellic acid in the post-harvest conservation of fresh tomatoes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, 2023, p. e009223.

FONTANA DC, NETO DD, PRETTO MM, MARIOTTO AB, CARON BO, KULCZYNSKI SM, Schmidt D. Using essential oils to control diseases in strawberries and peaches, **Int J Food Microbiol,** Jan v. 2;338, 2021, p. 108980.

HUA, L, YONG, C, ZHANQUAN, Z, BOQIANG, L, GUOZHENG, Q,, SHIPING, T. Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables, **Food Quality and Safety**. v. 2, 2018, p. 111–119.

HUONG, L. T.; THINH, B. B.; HUNG, N. H.; PHU, H. V.; HIEU, N. C.; DAI, D. N. Chemical composition, antimicrobial and larvicidal activities of essential oils of two Syzygium species from Vietnam. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e270967, 2024, p. 1-9.

KAWHENA T,G,, OPARA U,L,, FAWOLE O,A. A comparative study of antimicrobial and antioxidant activities of plant essential oils and extracts as candidate ingredients for edible coatings to control decay in 'Wonderful' pomegranate, **Molecules**. v. 26, 2021, p. 3367.

KUMAR S, REDDY ARL, BASUMATARY IB, NAYAK A, DUTTA D, KONWAR J, PURKAYASTHA MD, MUKHERJEE A. Recent progress in pectin extraction and their applications in developing films and coatings for sustainable food packaging: A review. **Int J Biol Macromol.**, Jun v. 1;239, 2023, p. 124281.

OLIVEIRA FILHO, JG,; ALBIERO, BR,; CALISTO, ÍH,; BERTOLO, MRV,; OLDONI, FCA,; EGEA, MB,; BOGUSZ JUNIOR, S,; CORDEIRO DE AZEREDO, HM,; FERREIRA, MD, Bio-nanocomposite edible coatings based on arrowroot starch/cellulose nanocrystals/carnauba wax nanoemulsion containing essential oils to preserve quality and improve shelf life of strawberry, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 219, 2022, p. 812-823.

PANSERA, MR; SILVESTRE, WP; TOUGUUINHA, LBA; SARTORI, VC. Antifungal and Antioxidant Activity of *Cupressus Sempervirens* and *Cupressus Lusitanica* Botanical Fermentates on *Colletotrichum fructicola*: In Vitro and In Vivo Evaluation, **Revista De Gestão Social E Ambiental**, v. 17(10), 2023, p. e04061.

PÉREZ-ROJAS M, DÍAZ-RAMÍREZ D, ORTÍZ-RAMÍREZ CI, GALAZ-ÁVALOS RM, LOYOLA-VARGAS VM, FERRÁNDIZ C, ABRAHAM-JUÁREZ MDR, MARSCH-MARTÍNEZ N. The Role of Cytokinins during the Development of Strawberry Flowers and Receptacles, **Plants** (Basel), v. 25;12(21), 2023, p. 3672.

PRIMIANO IV, PEREIRA WV, MORALES RGF, PERES NA, AMORIM L, MAY-DE MIO LL. Reduced sensitivity to azoxystrobin of *Monilinia fructicola* isolates from Brazilian stone fruits is not associated with previously described mutations in the cytochrome b gene. **Plant Dis**. v. 101, 2017, p. 766–773.

RAJAT S, NISHANT K, ANKA TP, ASHUTOSH U. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review, **Food Research International**, v. 136, 2020, p. 109582.

REHMAN R, HANIF MA, MUSHTAQ Z, AL-SADI AM. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: a review. **Food Rev**, v. 32, 2016, p. 117–160.

ROY S, PRIYADARSHI R, ŁOPUSIEWICZ Ł, BISWAS D, CHANDEL V, RHIM JW. Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. **Int J Biol Macromol**. Jun, v. 1, 2023, p. 124-248.

SAYURI, K. Pectin-based edible coating containing gibberellic acid in the post-harvest conservation of fresh tomatoes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, 2023, p. 1.

SHARMA A, RAJENDRAN S, SRIVASTAVA A, SHARMA S, KUNDU B. Antifungal activities of selected essential oils against *Fusarium oxysporum* f, sp, *lycopersici* 1322, with emphasis on *Syzygium aromaticum* essential oil, **J, Biosci, Bioeng**, v. 123, 2022, p. 308–313.

XUE, J, Y. LUO, B. LI, X. WANG, Z. XIAO, Y. LUO. Antimicrobial effects of thymol-loaded phytoglycogen/zein nanocomplexes against foodborne pathogens on fresh produce. **Int. J. Biol. Macromol.** v. 209, 2022, p. 1188-1196.

YAN J, WU H, CHEN K, FENG J, ZHANG Y, Antifungal Activities and Mode of Action of *Cymbopogon citratus*, *Thymus vulgraris*, and *Origanum heracleoticum* Essential Oil Vapors against *Botrytis cinerea* and Their Potential Application to Control Postharvest Strawberry Gray Mold, **Foods,** Oct v. 15;10(10): 2021, p. 2451.

Utilização de óleo de pirólise de biomassa de *Cymbopogom citratus*, como inibidor de crescimento microbiano

Marcia Regina Pansera[1], Wendel Paulo Silvestre[2], Vitória Maria de Miranda Zuccoloto[3], Murilo Cesar dos Santos[4], Gabriel Fernandes Pauletti[5]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (mrpancer@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (wpsilvestre@ucs.br)*
[3] *Universidade de Caxias do Sul (vmmzuccoloto)*
[4] *Universidade de Caxias do Sul (mcsantos3)*
[5] *Universidade de Caxias do Sul (gfpaulet@ucs.br)*

Resumo: A pirólise é uma tecnologia que tem sido extensivamente estudada e desenvolvida em todo o mundo como um processo eficiente no tratamento sustentável de resíduos agrícolas, florestais e industriais, gerando bioprodutos de alto valor a partir de resíduos diversos, como gás de pirólise, biochar e bio-óleo. O produto gasoso pode ser usado como combustível de combustão para atender às necessidades energéticas do processo, o biochar apresenta diversas aplicações como fertilizante e condicionador de solo, componentes de filtros e matéria prima para produção de borracha e o bioóleo pode ser empregado como combustível ou uso na agricultura. Buscando novas estratégias para o controle de fitopatógenos de interesse agrícola, foi estudado o uso do bio-óleo de pirólise de biomassa residual de capim-limão (*Cymbopogom citratus*), contra os fitopatógenos de interesse agrícola *Fusarium oxysporum Sclerotium rolfsii* e *Botryosphaeria* spp. O capim limão, obtido da área experimental da Universidade, passou por extração de óleo essencial e, na sequência, sofreu o processo de pirólise utilizando um reator do tipo Auger (rosca infinita), com temperatura final de pirólise de 450 °C e tempo de residência de 90 min. Para avaliar o efeito do bio-óleo sobre o crescimento micelial de cada patógeno, foram utilizadas diferentes concentrações (zero; 0,5 %; 1,0 %; 2,0 %, 4,0 % v/v). Todas as concentrações foram diluídas em 100 mL de meio de cultura BDA. As placas de petri foram incubadas em câmara BOD, com temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 h. Os resultados indicaram que, nas maiores concentrações do bio-óleo (1,5 e 2,0 % v/v) houve inibição total do crescimento dos três fitopatógenos testados. Tais resultados sugerem que o óleo de pirólise proveniente de materiais lignoelulósicos apresenta maior eficiência no controle fúngico, visto que, quando esse material é pirolisado, forma compostos como o furfural, já utilizado na agricultura para o controle de fitopatógenos.

Palavras-chave: Bio-óleo. Fusarium oxysporum. Sclerotium rolfsii. Botryosphaeria spp. Antifúngico.

Use of Cymbopogom citratus *biomass pyrolysis oil as a microbial growth inhibitor*

Abstract: Pyrolysis is a technology that has been extensively studied and developed worldwide as an efficient process in the sustainable treatment of agricultural, forestry and industrial waste, generating high-value bioproducts from various residues, such as pyrolysis gas, biochar and bio-oil. The gaseous product can be used as combustion fuel to meet the energy needs of the process. Biochar has several applications such as fertilizer and soil conditioner, filter components and raw material for rubber production. Bio-oil can be used as fuel or used in agriculture. Seeking new strategies for the control of phytopathogens of agricultural interest, the use of bio-oil from pyrolysis of residual biomass of lemongrass (*Cymbopogom citratus*) was studied against the phytopathogens of agricultural interest *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium rolfsii* and *Botryosphaeria* spp. Lemongrass, obtained from the experimental area of the University, underwent essential oil extraction and then pyrolysis using an Auger type reactor (infinite screw), with a final pyrolysis temperature of 450 °C and residence time of 90 min. To evaluate the effect of bio-oil on the mycelial growth of each pathogen, different concentrations (zero; 0.5%; 1.0%; 2.0%, 4.0% v/v) were used. All concentrations were diluted in 100 mL of PDA culture medium. The petri dishes were incubated in a BOD chamber at 25 °C and a 12 h photoperiod. The results indicated that, at the highest concentrations of bio-oil (1.5 and 2.0% v/v), there was total inhibition of the growth of the three phytopathogens tested. These results suggest that pyrolysis oil from lignocellulosic materials is more efficient in fungal control, since when this material is pyrolyzed, it forms compounds such as furfural, already used in agriculture to control phytopathogens.

Key words: Bio-oil. Fusarium oxysporum. Sclerotium rolfsii. Botryosphaeria spp. Antifungal

Introdução

Nos sistemas produtivos atuais é indispensável o desenvolvimento de alternativas aos agroquímicos sintéticos, mais amigáveis ao meio ambiente e ao ser humano. Assim, a busca por produtos biológicos ou naturais para a substituição de agroquímicos convencionais está cada vez mais presente em diversas áreas (Leite & Polli, 2020). Algumas tecnologias de processamento/transformação geram insumos com propriedades para uso agrícola. A pirólise é um processo de conversão termoquímica da biomassa e outros materiais, que ocorre na ausência de oxigênio em temperaturas elevadas (300 – 1000 °C), gerando como produtos o biochar (produto sólido), uma fração líquida e gases não condensáveis (Valle *et al.*, 2019). A pirólise rápida gera altos rendimentos de bio-óleo, variando de acordo com a biomassa utilizada, geralmente

60–75 % m/m da fração líquida, 15–25 % m/m de biochar e 10–20 % m/m de gases não condensáveis (Urrutia *et al.*, 2021).

Estima-se que centenas de compostos químicos estejam presentes na fração líquida da pirólise, sendo uma mistura complexa de água e fase orgânica, contendo um grande número de compostos, em sua maioria oxigenados, incluindo hidroxialdeídos, hidroxicetonas, açúcares, derivados fenólicos e ácidos carboxílicos (Pavlicevic *et al.*, 2023).

O uso dos produtos de pirólise apresentam um grande potencial ambiental, sendo renováveis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa (Liu, *et al.,* 2019). Além disso, o bio-óleo é uma fonte valiosa de produtos químicos e pode ter outras aplicabilidades em diferentes ramos da indústria e agricultura (Kim *et al*., 2020). Sendo empregado como herbicida, fungicida e inseticida, buscando verificar a sua eficiência para o controle e avaliando sua toxicidade sobre as culturas agrícolas e animais e o homem (Lourençon, 2016).

Buscando novas estratégias para o controle de fitopatógenos de interesse agrícola, foi estudado o uso do bio-óleo oriundo da pirólise da biomassa residual de capim-limão (*Cymbopogom citratus*), contra os fungos *Fusarium oxysporum Sclerotium rolfsii* e *Botryosphaeria* spp. A proposta alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contemplando saúde e bem-estar (nº 3), trabalho digno e crescimento econômico (nº 8), indústria e inovação (nº 9), cidades sustentáveis (nº 11), consumo responsável (nº 12), preservação da vida aquática (nº 14) e terrestre (nº 15), além de promover parcerias globais para alcançar essas metas (nº 17).

Materiais e Métodos

Origem dos isolados

Os fitopatógenos de interesse agrícola causadores de doenças em plantas *Fusarium oxysporum Sclerotium rollfsii* e *Botryosphaeria* spp. foram retirados da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Universidade de Caxias do Sul/RS.

Extração do bio-óleo

O processo de pirólise do qual foi obtido o bio-óleo utilizado no estudo foi realizado na Área Experimental e Fazenda Escola da Universidade de Caxias do Sul, utilizando um retor do tipo Auger

(rosca infinita), com temperatura final de pirólise de 450 °C e tempo de residência de 90 min. O capim limão foi cultivado na área experimental da Universidade, e a biomassa foi recolhida após passar por extração do óleo essencial.

Avaliação da atividade antifúngica in vitro do bio-óleo

Para avaliar o efeito do bio-óleo sobre o crescimento micelial de cada patógeno, foram utilizadas diferentes concentrações (zero; 0,5 %; 1,0 %; 2,0 %, 4,0 % v/v). Todas as concentrações foram diluídas em 100 mL de meio de cultura BDA. Os meios de cultura mais o bio-óleo foram distribuídos em placas de Petri (20 mL por placa) e, após a sua solidificação, foi transferido para o centro de cada placa, um disco de 0,5 cm de diâmetro contendo micélios do fungo retirado de uma colônia com 14 dias de crescimento. No tratamento controle, o patógeno foi inoculado em placas contendo apenas BDA (Triaca *et al.,* 2018). Os tratamentos foram incubados em câmara de crescimento com fotoperíodo de 12 h e temperatura de 25 °C. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições, sendo cada parcela constituída por uma placa de Petri. A medida do diâmetro médio das colônias foi feita com paquímetro digital aos três, sete e quatorze dias após a inoculação. Determinou-se também a porcentagem de inibição de crescimento (PIC) dos tratamentos em relação ao controle (Pansera *et al*., 2022).

Foi realizada a análise do tipo bifatorial, onde os fatores avaliados foram o tipo de fitopatógeno e as diferentes concentrações utilizadas. Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), seguido do teste de comparação de múltiplas médias de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

O processo de pirólise é atualmente visto como um meio sustentável de manejo de resíduos não recicláveis e de biomassa que não é reaproveitada, sendo descartada. Além disso, os subprodutos da pirólise vem sendo investigados com o intuito de verificar sua aptidão agrícola e potencial de uso substituir produtos sintéticos, acarretando menos impactos ambientais e sobre a saúde humana (AGUIRRE *et al.*, 2020).

Existem diversos estudos abordando a caracterização de óleo de pirólise proveniente de diferentes matérias-primas. Os diferentes óleos de pirólise se caracterizam por apresentar quantidades importantes de

ésteres, álcoois, ácidos, açúcares e fenóis. Há evidências de que este tipo de material apresenta um grande potencial na agricultura (NAMLI *et al.*, 2014).

A composição do bio-óleo vem sendo discutida por muitos pesquisadores, visto que ela varia de acordo com a matéria prima utilizada, o tipo de reator, a temperatura de pirólise, e o tempo de residência do material no reator, entre outros fatores. De modo geral, as substâncias mais encontradas são compostos oxigenados, que incluem ácidos carboxílicos, água, ésteres, furanos, fenólicos, aldeídos e cetonas (Pires *et al.*, 2019). No caso de resíduos sólidos urbanos, conforme reportado por Dunkle *et al.* (2021), o óleo de pirólise apresenta quantidades apreciáveis de olefinas, n-parafinas, naftenos e compostos aromáticos, entre outros.A maior proporção de picos caraterizados como fenóis no OPRSU pode estar associado à presença derivados de resíduos plásticos (polímeros), que comumente apresentam grupos aromáticos e/ou fenólicos, que foram gerados no processo pirolítico (Wang *et al.*, 2020). Por outro lado, a biomassa lignocelulósica é caracterizada pela presença de ésteres como elementos integrantes deste tipo de macromolécula, o que explica a maior proporção de picos identificados como ésteres neste óleo de pirólise (Stedile *et al.*, 2015).

Os dados da Tabela 1 demonstram que, a partir da concentração de 1,0 % v/v, o bio-óleo de capim-limão controla o crescimento dos três fitopatógenos estudados. Nas maiores concentrações testadas (1,5 e 2,0 % v/v) há inibição total do crescimento fúngico. Observou-se efeito de interação entre concentração de bio-óleo e tipo de patógeno onde a concentração de 1% foi mais efetiva no controle de *Sclerotium rolfsii,* seguido de *Botryosphaeria sp* e *Fusarium oxysporum.*

Tabela 1 – Percentual de crescimento dos fungos quando submetidos ao bio-óleo de capim limão, aos 14 dias de avaliação.

	Fungos		
Concentração	***Botryosphaeria sp.***	***Fusarium oxysporum***	***Sclerotium rolfsii***
	Percentual de crescimento na placa		
Controle	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
0,5 % v/v	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
1,0 % v/v	65,55 Bb	84,66 Ab	57,33 Cb
1,5 % v/v	0,00 Ac	0,00 Ac	0,00 Ac

2,0 % v/v	0,00 Ac	0,00 Ac	0,00 Ac

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula em linha (espécie fúngica) e minúscula em coluna (concentração) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Coeficiente de variação: 6,20 %.

Jaiswal *et al*. (2020) descobriram que a adição de bio-óleo produzido a partir de resíduos vegetais suprime a infecção por Fusarium do tomate por meio da regulação positiva de genes que codificam proteínas e participam de vias envolvidas na defesa das plantas e na síntese de fitohormônios. Por exemplo, pode-se citar as vias de síntese de citocininas, auxina, ácido jasmônico, brassinosteroides e fenilpropanoides), além da regulação negativa de genes envolvidos na síntese de ácido salicílico.

Devido à sua riqueza em compostos fenólicos, extratos oriundos de óleo de pirólise estavam sendo usados como pesticidas, na medicina como antissépticos, como antiinflamatórios e por suas propriedades antimicrobianas (Wang, *et al.* 2020). Os resultados da atividade antifúngica do extrato de alcatrão *de P. halepensis* a 10 % v/v e do extrato de alcatrão *de A. cyanophylla* a 0,75 % v/v revelaram que o alcatrão *de P. halepensis* foi inibiu com maior eficácia o crescimento micelial de muitos fungos, incluindo *F. solani, F. nyagami* e *M. nivale*, com uma taxa de inibição de 77 %, mas menos eficaz em outros como *F.rodelens* que tiveram apenas 23 % de inibiçao de crescimento de micélio (Derbali, 2024).

Aydi-Ben-Abdallah *et al.* (2020) descobriram que isolados bacterianos naturalmente associados às plantas Solanum sodomaeum e Solanum bonariense suprimiram a murcha de *Fusarium* no tomate. Essa atividade antifúngica pode ser devida a mudanças na concentração de hormônios vegetais, como ácido salicílico e ácido jasmônico.

Os compostos fenólicos são produzidos principalmente pela decomposição termoquímica da lignina, e a composição fenólica do bio-óleo varia de acordo com alguns fatores, como a espécie vegetal, a parte da planta utilizada (por exemplo, madeira, casca, semente) e as condições do processo de pirólise, como a temperatura de reação, tempo de retenção*,* entre outros fatores (Mattos, *et al*. 2019).

Desse ponto de vista, é possível observar que o óleo de pirólise apresentou sucesso no controle fúngico, sendo eficiente para todos os fungos testados. Isso leva a observar que materiais lignocelulósicos

apresentam maior eficiência no controle fúngico, visto que, quando esse material é pirolisado, forma compostos como o furfural, já utilizado na agricultura para esse tipo de controle (Kim *et al*., 2020).

Conclusão

O bio-óleo de Cymbopogom citratus (capim limão) apresentou resultados promissores de controle dos fitopatógenos *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium rolfsii* e *Botryosphaeria spp*. por apresentar diversos compostos químicos um alto percentual de água, facilitando a diluição. A fração líquida proveniente do processo de pirólise se apresenta como uma alternativa potencial e promissora dos potenciais efeitos fungicidas para emprego na área agrícola, representando um potencial tecnológico, de inovação e de sustentabilidade para a agricultura e a área ambiental.

Referências

AYDI-BEN-ABDALLAH,R.H.JABNOUN-KHIAREDDINE,M.DAAMI-REMADI. Biocontrol of fusarium wilt and growth stimulation of tomato plants using endophytic bacteria naturally associated with Solanum sodomaeum and S. bonariense plants. Egypt. **J. Biol. Pest Control**, v. 30, 2020, p. 113.

DERBALI, F. *et al.* Chemical composition, Insecticidal and antifungal activities of *Pinus halepensis* mill. and *Acacia cyanophylla* sp. wood tars. **Heliyon**, v. 10, n. 6, p. e27813, 2024.

DUNKLE, M. N. *et al.* Method development and evaluation of pyrolysis oils from mixed waste plastic by GC-VUV. **Journal of Chromatography A**, v. 1637, 2021, p. 461837.

GREWAL, A.; ABBEY, L.; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 135, 2018, p. 152-159.

HU, X.; GHOLIZADEH, M. Progress of the applications of bio-oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, 2020, p. 110124.

JAISWAL, A. K., N. ALKAN , Y. ELAD , N. SELA , A. M. PHILOSOPH , E. R. GRABER , O. FRENKEL. Molecular insights into biochar-mediated plant growth promotion and systemic resistance in tomato against Fusarium crown and root rot. **Sci. Rep**., v. 10, 2020, Article 13934.

KIM, S., LEE, Y., LIN, K.Y.A, E. HONG, E.E. KWON, J. LEE. The valorization of food waste via pyrolysis: a review. **J. Clean. Prod**. 2020, p. 120816.

LEITE, A. B.; POLLI, H. Q. Agricultura Orgânica no Brasil com Enfoque na Agricultura Biodinâmica. **Revista Interface Tecnológica,** v. 17, n. 1, 2020, p. 417–430.

LIU, X., CAO, A., YAN, D., C. OUYANG, Q. WANG, Y. LI. Overview of mechanisms and uses of biopesticides. Int. **J. Pest Manag**. 2019, p. 1–8.

LOURENÇON, T.V., MATTOS, B.D., CADEMARTORI, P.H., MAGALHÃES, W.L. Bio-oil from a fast pyrolysis pilot plant as antifungal and hydrophobic agent for wood preservation**. J. Anal. Appl. Pyrol**., v. 122, 2016, p. 1-6.

MATTOS, C. *et al.* Biocidal applications trends of bio-oils from pyrolysis: Characterization of several conditions and biomass, a review. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 139, 2019, p. 1-12.

PANSERA, M. R., SILVESTRE, W. P., & SARTORI, V. C. Bioactivity of *Cupressus sempervirens* and *Cupressus lusitanica* leaf essential oils on *Colletotrichum fructicola*. **Journal of Essential Oil Research**, v. 35(1), 2022, p. 51–55.

PAVLICEVIC, M, ELMER, W, ZUVERZA-MENA, N, ABDELRAHEEM, W, PATEL, R, DIMKPA, C, O'KEEFE, T, CHRISTY L. HAYNES, PAGANO, L. Nanoparticles and biochar with adsorbed plant growth-promoting rhizobacteria alleviate Fusarium wilt damage on tomato and watermelon. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 203, 2023.

PIRES, A. P. P. *et al.* Challenges and opportunities for bio-oil refining: A review. **Energy & fuels**, v. 33, n. 6, 2019, p. 4683-4720.

STEDILE, T., ENDER, L., MEIER, H. F., SIMIONATTO, E. L., & WIGGERS, V. R. Comparison between physical properties and chemical composition of bio-oils derived from lignocellulose and triglyceride sources. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 50, 2015, p. 92-108.

TRIACA, T; PANSERA, M. R; ANDREOLLA, M. L; VENTURIN, L; SARTORI, V. C. Avaliação *in vivo* do fermentado botânico de *Ilex paraguariensis* frente ao fungo *Sclerotinia sclerotiorum* no cultivo de alface crespa. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia,** Guarapuava-PR, v.11, n.1, 2018, p.51-58.

URRUTIA, RI, JESSER, CYE, GUTIERREZ, VS, VOLPE, MA, GONZÁLEZ, JOW. Sunflower seed hulls waste as a novel source of insecticidal product: Pyrolysis bio-oil bioactivity on insect pests of stored grains and products**. Journal of Cleaner Production**, v. 287, 2021.

VALLE, B. *et al.* Recent research progress on bio-oil conversion into bio-fuels and raw chemicals: a review. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 94, n. 3, 2018, p. 670–689.

WANG, N., QIAN, K., CHEN, D., ZHAO, H., & YIN, L. Upgrading gas and oil products of the municipal solid waste pyrolysis process by exploiting in-situ interactions between the volatile compounds and the char. Waste Management, v. 102, 2020, p. 380-390.

O uso de canteiros ecológicos para trabalhar Educação Ambiental

Gracijane Oliveira Galvão[1], Joseleide Teixeira Câmara[2]
[1]*Curso de Ciências Naturais Licenciatura, da Universidade Estadual do Maranhão, Campus Caxias (gracijaneuema@gmail.com)*
[2]*Departamento de Química e Biologia, da Universidade Estadual do Maranhão, Campus Caxias (jtcamara75@gmail.com)*

Resumo: A preservação do meio ambiente transcende fronteiras, principalmente no cenário atual, com as perdas da biodiversidade e mudanças climáticas. Nesse sentido, a Educação Ambiental pode capacitar e sensibilizar os indivíduos para cuidarem do meio ambiente. Este projeto explora a implementação da Educação Ambiental na educação formal por meio da criação de canteiros ecológicos acessíveis à comunidade. Os espaços verdes oferecem benefícios educacionais e incentivam ações práticas que integram sustentabilidade e engajamento comunitário. Foram implementados com sucesso canteiros em diferentes níveis educacionais, ensino fundamental ao superior, utilizando materiais reutilizados, contribuindo para a redução de resíduos sólidos. O planejamento, a seleção de materiais e a colaboração foram essenciais para a realização dos canteiros. O projeto incluiu a produção de duas atividades práticas de Educação Ambiental. A presença dos professores variou, com maior envolvimento no ensino fundamental e maior autonomia nos níveis superiores, refletindo em diferentes resultados. O projeto alinha-se à literatura sobre o impacto positivo das práticas ambientais coletivas, destacando o potencial de fortalecer a conexão entre o homem e a natureza, além de aprimorar as relações entre a escola e a comunidade. Apesar dos desafios na formação dos professores para trabalhar a Educação Ambiental, a cartilha fornece o suporte necessário, promovendo abordagens interdisciplinares e transversais. Este projeto demonstra que os canteiros ecológicos são uma ferramenta poderosa para uma Educação Ambiental significativa e duradoura, promovendo maior conscientização e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Ecológico; Jardim; Sustentabilidade.

School Garden Beds: Didactic Sequence for Teaching Environmental Education

Abstract: The preservation of the environment transcends borders, especially in the current context marked by biodiversity loss and climate change. In this regard, Environmental Education can empower and raise awareness among individuals to care for the environment. This project explores the implementation of Environmental Education within formal education through the creation of ecological garden beds accessible to the community. These green spaces offer educational benefits and encourage practical actions that integrate sustainabi-

lity and community engagement. Garden beds were successfully implemented across different educational levels, from elementary to higher education, using repurposed materials, thereby contributing to the reduction of solid waste. Planning, material selection, and collaboration were essential to the successful establishment of the garden beds. The project included the development of two practical Environmental Education activities. Teacher involvement varied, with greater participation at the elementary level and greater autonomy at higher education levels, resulting in different outcomes. The project aligns with the literature on the positive impact of collective environmental practices, highlighting the potential to strengthen the connection between humans and nature, as well as to enhance relationships between schools and their communities. Despite challenges in preparing teachers to work with Environmental Education, the instructional guide provides necessary support, promoting interdisciplinary and cross-curricular approaches. This project demonstrates that ecological garden beds are a powerful tool for meaningful and lasting Environmental Education, fostering increased environmental awareness and responsibility.

Keywords: Ecological; Garden; Sustainability.

Introdução

A preservação do meio ambiente transcende fronteiras, tornando-se uma imperativa global (Machado e Garrafa, 2020). A deterioração ambiental, as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade representam ameaças significativas à qualidade de vida e à sustentabilidade planetária (Joly e Quiroz, 2020). Nesse cenário, a Educação Ambiental assume um papel crucial ao capacitar indivíduos para compreenderem as complexidades ambientais, internalizarem os impactos de suas ações e promoverem decisões sustentáveis (Silva e Júnior, 2019).

O artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) garante a todos o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, enquanto a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) (Lei n° 9.795 de 27/1999), estabelece que a Educação Ambiental é essencial para conscientizar a população sobre a importância da preservação ambiental e do uso sustentável dos recursos naturais. Nesse contexto, ambas as legislações se complementam, tendo como objetivo melhorar a relação entre o ser humano e o meio ambiente, sensibilizando-o para as questões ambientais e estimulando uma postura crítica frente aos desafios ecológicos da atualidade (Cavalcante, 2011; Bortolon e Mendes, 2014).

A integração da Educação Ambiental nas escolas é uma oportunidade valiosa para transformar a sociedade. Quando desenvolvida de

forma criativa, inclusiva e prática, pode provocar mudanças significativas nos hábitos e atitudes de alunos e comunidades onde vivem, formando cidadãos conscientes, capazes de tomar decisões informadas e agir de maneira sustentável. (Oliveira, 2023a). Mais do que transmitir informações, a Educação Ambiental no currículo escolar visa cultivar valores, atitudes e habilidades que promovam o equilíbrio entre a ação humana e a preservação ambiental (Montenegro *et al.*, 2018; Silva e Júnior, 2019).

As escolas, enquanto espaços de formação crítica, desempenham papel essencial na sensibilização para práticas sustentáveis. Segundo Serra Júnior *et al.* (2024), elas podem promover a conservação ambiental ao estimular o respeito à vida e a responsabilidade ecológica. A implementação de práticas pedagógicas, como a criação de canteiros ecológicos, permite alinhar teoria e prática, contribuindo para um aprendizado ativo e significativo (Marques e Gitahy, 2022), e contribuindo para a conservação dos recursos naturais (Lima *et al.*, 2024).

Neste trabalho, exploraremos como a Educação Ambiental pode ser implementada na educação formal, com ênfase na produção de canteiros ecológicos abertos à comunidade. Esses espaços verdes não apenas educam, mas também incentivam ações práticas que integram sustentabilidade e engajamento comunitário. Por meio dessa abordagem, buscamos contribuir para o fortalecimento da Educação Ambiental e para um futuro mais equilibrado e sustentável.

Procedimentos metodológicos

O estudo possui uma abordagem exploratória, estruturada a partir de uma pesquisa de campo, na qual o objeto se concentrou em produzir canteiros ecológicos dentro do espaço da educação formal. O estudo foi dividido em três etapas: levantamento das plantas da região, planejamento e produção de canteiros, seguindo a estrutura de sequência didática (SD).

O levantamento das plantas da região ocorreu durante todas as fases do estudo. Através da pesquisa de campo e da rede internacional de computadores, que foram obtidos artigos com estudos voltados para o cultivo de plantas com diferentes objetivos, nas bases (Scielo, researchgate, google acadêmico, Flora do Brasil, Gbif, SiBBr). Através dessa pesquisa bibliográfica foram listadas e caracterizadas as plantas escolhidas para cultivo.

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Caxias, Maranhão. Foram escolhidas duas instituições de ensino, uma de educação básica e outra de educação superior para a aplicação da proposta. A instituição (A), escola pública, que oferta o ensino fundamental (EF) anos finais, 6° ao 9° ano. A escola recebe aproximadamente 300 alunos por ano. Conta com uma infraestrutura básica; cinco salas de aula, sala de leitura, sala de informática, diretória, sala dos professores, cozinha, sala de AEE, banheiros, pátio limitado e área externa pequena.

E a instituição (B), trata-se de uma instituição de ensino superior (IES), pública, que desempenha um papel fundamental na formação de profissionais qualificados e no desenvolvimento regional. O prédio também atende à comunidade em geral por meio de projetos de extensão, cursos e iniciativas voltadas para o desenvolvimento social, cultural e econômico da região, promovendo a inclusão e o acesso ao conhecimento. A instituição possui muitos espaços de vivência, jardins e estacionamento.

Para implantação dos canteiros em ambientes de Educação formal foram realizadas articulações com a gestão das duas instituições. Em ambos, foram escolhidos espaços e tipo de canteiro que contribuíssem com o paisagismo já existente.

Planejamento e Produção dos Canteiros

Para a confecção dos canteiros seguimos algumas etapas, 1) Mapeamento dos espaços que já tinham plantas e áreas que poderiam receber mudas; 2) A escolha das plantas: baseado nas plantas que a comunidade tinha em casa e pesquisas bibliográficas das plantas na região, montamos uma lista de espécies desde hortaliças, frutíferas, ornamentais, medicinais. 3) Produção dos materiais: coletamos garrafas pet, pneus, pallets, estantes de ferro (abandonada no fundo da universidade); 4) Obtenção de mudas e adubos: foram doados pela comunidade e dos espaços; e 5) Plantio.

Na escola de EF foi produzido o canteiro suspenso, utilizou-se palletes, garrafas pets, pneus, telhas, tintas coloridas, entre outros adornos. Optou-se por plantas medicinais e ornamentais, dando uma abordagem criativa para a organização do espaço. Com a colaboração de quatro residentes (bolsistas da universidade do Programa Residência

Pedagógica). Enquanto na universidade, trabalhou-se com a produção do canteiro comunitário. Os materiais utilizados foram, estante de ferro, pneus e garrafas plásticas. As espécies utilizadas foram doadas pelos alunos e comunidade, sendo frutíferas, medicinais, ornamentais e hortaliças. Convidamos os alunos do 2º período do Curso de Ciências Biológicas (2023.1) para auxiliar na confecção do canteiro.

Resultados

Os resultados deste trabalho foram organizados em diferentes etapas, cada uma representando um cenário distinto da avaliação. A análise incluiu seleção de metodologias, técnicas de cultivo e materiais utilizados nos canteiros ecológicos, abrangendo aspectos como preparo do solo, tipos de adubo, seleção de espécies adequadas para os canteiros e os cuidados.

A pesquisa sobre as espécies possíveis de cultivar em canteiros ecológicos na região, originou uma lista com 31 espécies distribuídas em 26 gêneros (Quadro 1).

Quadro 1 – Lista de espécies utilizadas no plantio. Preferências de clima/solo: solo bem drenado, toleram períodos de seca, preferem exposição ao sol direto (QS). Preferem alta umidade, solo bem drenado e proteção contra sol forte direto, mas ainda requerem calor para crescer (QU). Preferem sol pleno, temperaturas amenas ou quentes, e necessitam de irrigação regular durante a estação seca (CA). Preferem sombra parcial e umidade constante; solos bem drenados e irrigação regular são essenciais (SU).
Tolerantes ao calor, podem resistir a períodos secos e solos mais pobres, necessitam de pouca manutenção (CS). Climas mais amenos e solos drenados, irrigação regular nos períodos secos (AD).

Tipo	Nome científico	Nome popular	Preferências	N° de mudas	Referência
Ornamentais	*Portulaca grandiflora* (Hooker, 1829)	Portulava	QS	6	Coelho e Giulietti, 2010
	Codiaeum variegatum (Linnaeus, 1753)	Cróton	QU	1	Osborne e Selos, 1969
	Bougainvillea glabra (Choisy, 1847)	Bougoinvilhea	QS	2	Freitas, 2022
	Hibiscus rosa-sinensis (Linnaeus, 1753)	Hibisco	QU	2	Vélez-Gavilán, 2022
	Sansevieria trifasciata (Bengal, 1903)	Espada de São Jorge	CS	8	Nascimento et al, 2003
	Chamaedorea cataractarum (Mart, 1849)	Palmeira cascata	SU	4	Sodré, 2005
	Zamioculcas zamiifolia (G. Lodd, 1905)	Planta zz	CS	5	Senar, 2018
	Pedilanthus tithymaloides (L. Poit., 1812)	Zigue zague	QS	4	Trindade e Lameira, 2014
	Adenium obesum [(Forssk.) Roem. & Schult. 1819]	Rosa do deserto	QC	2	Oliveira *et al.*, 2020
	Ixora coccínea (Comm. ex Lam., 1786)	Ixora	QU	4	Almeida *et al.*, 2007

Frutíferas	*Citrus sinensis* [(Mill.) Pers., 1806]	Laranjeira	QU	1	Oliveira *et al.*, 2023
	Carica papaya (L. 1753)	Mamão	QU	1	Serrano e Cattaneo, 2010.
	Citrus limon [(L.) Osbeck, 1765)	Limoeiro	QU	2	Oliveira *et al.*, 2023
	Malpighia emarginata (DC. 1824)	Aceroleira	QU	8	Souza et al, 2013
Medicinais	*Thymus vulgaris* (L., 1753)	Tomilho	QS	1	Carvalho, 2015
	Plectranthus barbatus (Andrews, 1810)	Boldo	CS	2	Sousa *et al.*, 2007
	Melissa officinalis (L., 1753)	Erva-cidreira	CA	2	Azevedo e Moura, 2010
	Cymbopogon citratus [(DC.) Stapf, 1906]	Capim-limão	QS	2	Carvalho, 2015
	Calendula officinalis (L., 1753)	Cadêncula	QU	1	Carvalho, 2015
	Chamaemelum nobile [(L.) All., 1785]	Camomila	CA	1	Barbosa, 2019
	Mikania glomerata (Spreng., 1826)	Guaco	QU	1	Tormes, 2026
	Ocimum basilicum (L., 1753)	Manjericão	CA	1	Goldim *et al.*, 2021
	Rosmarinus officinalis (L., 1753)	Alecrim	QS	2	Goldim *et al.*, 2021
	Aloe vera [(L.) Burm.f., 1786]	Babosa	QS	4	Goldim *et al.*, 2021
	Mentha sp. (L., 1753)	Hortelã	SU	2	Goldim *et al.*, 2021

Hortaliças	*Allium fistulosum* (L., 1753)	Cebolinha	CS	6	Oliveira *et al.*, 2019
	Coriandrum sativum (L., 1753)	Coentro	CA	6	Vaz *et al.*, 2007
	Solanum lycopersicum (L., 1753)	Tomate	CA	4	Marinho *et al.*, 2012
	Capsicum annuum (L., 1753)	Pimentão	QS	2	Marinho *et al.*, 2012
	Capsicum frutescens (L., 1753)	Pimenta vermelha	QS	4	Marinho *et al.*, 2012
	Lactuca sativa (L., 1753)	Alface	AD	2	Marinho *et al.*, 2012

Fonte: Autores, 2024.

Em geral, plantas adaptadas a climas quentes e secos, como Portulaca grandiflora, Sansevieria trifasciata, Aloe vera, Adenium obesum, Bougainvillea glabra, Calendula officinalis, Mikania glomerata, são bem adaptadas ao clima quente, no entanto, plantas que preferem sombra ou umidade, como Chamaedorea cataractarum, Zamioculcas zamiifolia, Melissa officinalis, Cymbopogon citratus, Mentha sp., Coriandrum sativum, Hibiscus rosa-sinensis, podem ser cultivadas com cuidados específicos, como constante irrigação e proteção contra exposição ao sol, como foi observado.

Os canteiros possibilitaram trabalhar com diferentes níveis da educação formal, ensino fundamental e superior, alcançados aproximadamente 170 alunos e cinco professores/residentes. O uso de materiais reutilizados, contribuiu para a redução dos resíduos sólidos, na escola, nas casas e nas ruas, coletamos e reutilizamos 17 pneus, 63 garrafas pet, 14 jarros, 2 telhas e 2 paletes. A escolha dos espaços e o planejamento foram essenciais para evitar o desperdício de mudas, evitando a superlotação (espaço pequeno) ou a escassez (espaço grande), foram plantadas 101 mudas, sendo, 52 no ensino fundamental e 49 na universidade. As espécies realocadas, foram devidamente tratadas antes do plantio, cuidadosamente para não danificá-las. Esse resultado evidencia

a viabilidade de práticas de jardinagem ecológica, acessíveis para diversas comunidades.

Foram adotadas abordagens distintas no preparo do solo para o plantio. Na escola de ensino fundamental, devido à limitação de espaço e o uso de vasos, canteiro vertical, empregaram-se recipientes perfurados na base para evitar o acúmulo de água. O substrato utilizado consistiu em uma mistura composta por 30% de adubo orgânico, 20% de areia de construção, 50% de terra comum e brita no fundo para auxiliar na drenagem. Já na universidade, como a maioria das mudas foram cultivadas diretamente no solo, os locais de plantio foram selecionados com base na preferência das espécies (Figura 2). O solo foi preparado conforme necessário, sendo enriquecido principalmente com esterco de bode e húmus de minhoca. As mudas doadas pela comunidade e o cultivo de plantas com objetivos múltiplos (medicinais, frutíferas, hortaliças e ornamentais) demonstrou como é possível adotar práticas agrícolas ecológicas em ambientes urbanos e educacionais, o que fortaleceu a relação entre educação ambiental e práticas agrícolas sustentáveis.

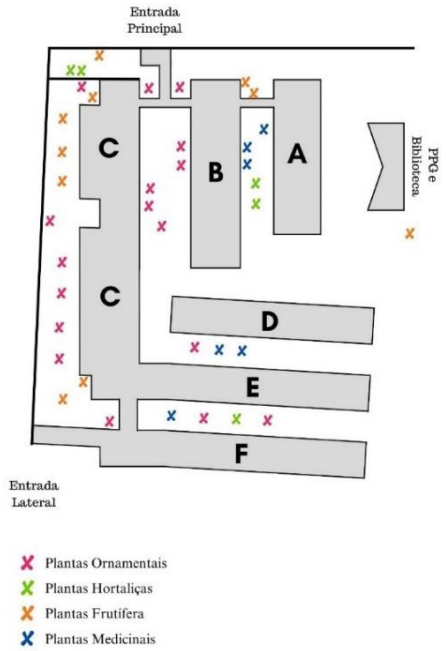
Na escola de ensino fundamental, o espaço que sediou o canteiro vertical foi totalmente transformado, portanto, além do teor educativo, que permitiu muitas possibilidades didáticas (a importância de cuidar do meio ambiente, preparo do solo para receber muda, utilidade das espécies, cuidados, importância de reutilizar, relação: comunidade-escola), alcançamos um valor paisagístico importante ao ambiente (Figura 1). Na universidade as plantas foram distribuídas entre os blocos e próximas as salas de aula e laboratórios (Figura 2). Esses espaços funcionaram como ferramentas pedagógicas, proporcionando uma experiência concreta e educação ambiental, fortalecendo o aprendizado sobre sustentabilidade e a importância do cuidado com o meio ambiente.

Figura 1 – Canteiro Vertical localizado na escola do fundamental. A/B (resultado do projeto); C/D (o uso dos materiais reutilizados); E/F (pinturas nas paredes).



Fonte: Autores, 2024.

Figura 2 – Layout planejado para o plantio de espécies na Universidade Estadual do Maranhão, campus Caxias. Blocos do campus – A (Administrativo), B (Sala de aula), C (Salas de aula e Laboratórios de multiuso), D (Laboratórios de Pesquisa), E (Laboratórios de Pesquisa), F (Laboratórios de Pesquisa e multiuso).



Fonte: Autores, 2025.

Discussão

No cenário atual educativo, a integração de práticas de ensino-aprendizagem da Educação Ambiental vem ganhando relevância, principalmente por desenvolver uma consciência crítica e ativa em relação ao meio ambiente. Para este fim, este trabalho investiga técnicas e metodologias para trabalhar a Educação Ambiental dentro do espaço de Educação formal, como forma de reconectar o homem a natureza, por meio de várias abordagens pedagógicas para a aprendizagem ambiental.

A presença do professor orientador em ambos os cenários mostrou resultados diferentes, para a faixa etária menor foi mais intensa, enquanto para a faixa etária maior foi dado mais liberdade, o que pode ter relação com os produtos de cada cenário. Muller e Silva (2023) destaca que a presença ativa dos professores no processo de ensino-aprendizagem, contribui para o empenho do aluno no processo do aprendizado. O uso de materiais reutilizados em atividade sustentáveis pôde incentivar

pensamentos criativos, já que práticas ambientais não são únicas e podem ser adaptada a níveis, espaços e recursos (Oliveira, 2023b).

Em trabalhos anteriores, Soares e Frenodozo (2018) e Joaquim (2021) ressaltam que ações realizadas de forma coletiva estimula pensamentos coletivos, não mais restritos a comunidade escolar, estendendo-se a comunidade familiar. Além disso, o impacto positivo dos canteiros ecológicos na relação natureza-escola-comunidade, como identificado nesse estudo, corrobora com os achados de Joaquim (2021) e Costa Silva *et al.* (2022), que destacam o potencial das práticas ambientais para fortalecer a relação homem e natureza, e cultivar a relação escola e comunidade, sensibiliza para os problemas ambientais a sua volta.

De acordo com Oliveira (2023), projetos de Educação Ambiental estão sendo realizados de forma pontuais e fragmentadas. Nesse sentido, os canteiros ecológicos mostram-se uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem significativa e duradoura (Costa et al, 2019). A percepção ambiental, significativamente ampliada ao longo do projeto, alinha-se às discussões de Costa Silva *et al.* (2022), que defende que essas atividades práticas despertam maior interesse e sensibilização ambiental.

A opção por sequência didática interativas, são refletidas na literatura, onde defendem a importância de estratégias ativas na educação (Costa et al, 2019; Oliveira, 2023). Essas estratégias não apenas promovem a maior participação dos alunos, mas também facilitam uma compreensão mais profunda dos conteúdos abordados. As sequências didáticas despertam o interesse e a motivação dos alunos, além de desenvolver habilidades críticas e reflexivas.

Assim, a integração de práticas ambientais no currículo escolar usando recursos didáticos, como as cartilhas de SD, realizadas com a presença do professor e crucial para garantir o envolvimento dos alunos. Os canteiros ecológicos representam uma ferramenta educativa eficaz, que ajuda a melhorar as relações do homem com a natureza. Com isso, ações realizadas em parcerias, ajudam a aumentar Consciência Ambiental, Cooperação Comunitária, Educação Prática e Sustentabilidade.

Conclusões

Este estudo destaca a importância da Educação Ambiental na formação de uma consciência crítica e ativa em relação ao meio ambiente. Os resultados obtidos evidenciam que o uso de materiais reutilizados nos canteiros contribuiu para a redução de resíduos sólidos, além de incentivar o planejamento e a responsabilidade no uso dos recursos. A transformação dos espaços escolares em áreas verdes e o envolvimento da comunidade escolar e local mostraram-se fundamentais para a valorização do meio ambiente fortalecendo as relações entre a escola e comunidade.

Em conclusão, a criação de canteiros ecológicos nas escolas revela-se uma prática pedagógica e ambientalmente eficaz, reforçando a importância de integrar teoria e prática, e destacando o papel vital dos educadores e da comunidade no desenvolvimento de uma cultura ambiental sustentável. Assim, reforçamos a necessidade de investimentos em projetos que promovam a Educação Ambiental, garantindo um futuro mais equilibrado e sustentável para as próximas gerações.

Referências

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Federal 9.795, de 27 de abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 20/07/2024.

BORTOLON, B.; MENDES, M. S. S.; A Importância da Educação Ambiental para o Alcance da Sustentabilidade. Revista Eletrônica de Iniciação Científica. Itajaí, Centro de Ciências Sociais e Jurídicas da UNIVALI. v. 5, n.1, p. 118-136, 1º Trimestre de 2014.

COSTA SILVA, T.; *et al.*; (2022). Jardins sustentáveis: um recurso para educação ambiental em escolas públicas municipais em Caxias-MA, Brasil. Research, Society and Development. 11. e264111537076. 10.33448/rsd-v11i15.37076.

COSTA, M.; *et al.*; Jardim vertical e horta como ferramenta de Educação Ambiental em escola em Ituiutaba-MG. Revista Científica Rural, Bagé-RS, volume21, nº2, ano 2019. Doi: https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2649.

CAVALCANTE, M. B.; O papel da educação ambiental na era do desenvolvimento (in) sustentável. Revista Educação Ambiental em Ação [online]. Novo Hamburgo – RS, n. 36. 2011.

JOAQUIM, A.; Cartilha de Educação Ambiental como instrumento facilitador do pensar Educação Ambiental em escolas de ensino fundamental do município

de Duque de Caxias, 2021. TCC – Instituto Federal do Rio de Janeiro. Duque de Caxias, 2021.

JOLY, C. A.; QUEIROZ, H. L.; Pandemia, Biodiversidade, Mudanças Globais E Bem-estar Humano. 2020. Estudos Avançados 34 (100). Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo: 67–82. doi: https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.006.

LIMA, G. F.; DOS SANTOS, H. S.; VASCONCELOS, S. O. S.; *et al.*; A educação ambiental no ensino e na prática escolar: uma revisão abrangente. Revista Sociedade Científica, vol.7, n.1, p.2141-2157, 2024. https://doi.org/10.61411/rsc202444017.

MACHADO, I. L. de O.; GARRAFA, V.; Proteção ao meio ambiente e às gerações futuras: desdobramentos e reflexões bioéticas. Saúde em Debate, v. 44, n. 124, p. 263–274, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-1104202012419.

MARQUES, A. P. A. Z.; GITAHY, R. R. C.; Team based learning: Contribuições da metodologia na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa. Scielo preprints. São Paulo, 2022. Doi: 10.1590/scielopreprints.3505.

MONTENEGRO, L. A.; *et al.*; Educação para a sustentabilidade: um desafio a ser alcançado. Educação Ambiental em Ação, v.17, n. 64, 2018.

MULLER, T.; SILVA, M. C. da; Educação Ambiental e Sustentabilidade Ambiental nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental, [S. l.],

v. 28, n. 1, p. 1–29, 2023. DOI: 10.14295/ambeduc.v28i1.15199.

OLIVEIRA, L. C.; A importância da educação ambiental na escola. Ciências Biológicas, Edição 127, 12/10/2023. ISSN 1678-0817.

OLIVEIRA, A. N. S.; Práticas de Educação Ambiental na construção de escolas sustentáveis. 2023. Revista Educação Ambiental em Ação (Nº 82).

SERRA JUNIOR, D. F.; DE SOUZA, R. C.; BALDASSINI, R. dos S.; A Importância da

Educação Ambiental nas escolas para a promoção do desenvolvimento sustentável. Rebena – Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem, [S. l.], v. 8, p. 185–194, 2024.

SILVA, A. P.; JUNIOR, R. P. dos S.; Educação ambiental e sustentabilidade: é possível uma integração interdisciplinar entre o ensino básico e as universidades? Ciênc. Educ., Bauru, v. 25, n. 3, p. 803-814, 2019. doi: https://doi.org/10.1590/1516-731320190030007.

SOARES, M. B.; FRENEDOZO, R. de C; Sequência Didática para inserção da Educação Ambiental no ensino fundamental. Rev. Triang. Uberaba, MG v.11 n.1 p.196 – 211 Jan./Abr. 2018 ISSN 2175-1609.

Avaliação do Potencial do Bagaço de Malte como Combustível Renovável para uma Caldeira Flamotubular

Mateus Athie Nascimento[1], Michele Di Domenico[2], Claiton Zanini Brusamarello [3], Luciane Batistella[4], Tamyris Thaise Costa de Souza[5]
[1] *Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (mateus.athie13@gmail.com)*
[2] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (micheled@utfpr.edu.br)*
[3] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (claitonz@utfpr.edu.br)*
[4] *Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (luciane.batistella@unifesspa.edu)*
[5] *Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (ttcsouza@unifesspa.edu.br)*

Resumo: O crescimento da produção de cerveja no Brasil e no mundo ao longo do tempo aumentou a geração de resíduos provenientes do processo de fabricação. O subproduto gerado em maior quantidade e volume é o bagaço de malte (BM), com cerca de 20 kg para cada 100 L de cerveja produzida. Este trabalho teve como objetivo a análise da aplicação do bagaço de malte na mistura de BM e madeira para geração de vapor. Para isso, foi realizada a caracterização do BM e da madeira e misturas destes através de teor de umidade, matéria volátil, cinzas, carbono fixo e Poder Calorífico Superior (PCS). Através do resultado de PCS foi determinado a eficiência energética da caldeira (74,11%). O BM tem teor de umidade de 76,33%. A proporção BM/madeira (90%/10%) possibilitou a redução do custo com combustível de 7,4% no período de 180 dias. Dessa forma, o reaproveitamento do bagaço de malte se torna viável do ponto de vista energético, social, ambiental e econômico, por ser um material sustentável.

Palavras-chave: Bagaço de malte. Combustão. Energia. Caldeira flamotubular.

Assessment of the Potential of Malt Bagasse as a Renewable Fuel for a Fire-Tube Boiler

Abstract: Over time, beer production growth in Brazil and worldwide has increased waste generation from the brewing process. The most abundant byproduct in terms of quantity and volume is malt bagasse (SMB), with approximately 20 kg generated for every 100 L of beer produced. This study aimed to analyze the application of malt bagasse in a mixture of MB and wood for steam generation. To achieve this, the MB, wood, and their mixtures were characterized based on moisture content, volatile matter, ash, fixed carbon, and Higher Heating Value (HHV). Based on the HHV results, the boiler's energy efficiency was determined to be 74.11%. The MB has a moisture content of 76.33%. The MB/wood ratio of 90%/10% enabled a 7.4% reduction in fuel costs over 180 days. Therefore, the reuse of malt bagasse is feasible from an

energy, social, environmental, and economic perspective, as it is a sustainable material.

Key words: Malt bagasse. Combustion. Energy. Flire-tube boiler.

Introdução

A indústria cervejeira brasileira se destaca mundialmente. O Brasil produziu 15,6 bilhões de litros de cerveja em 2024, mantendo o terceiro lugar no *ranking* mundial de produção, atrás apenas da China e Estados Unidos. Em 2023 o setor registrou 1.847 cervejarias no Brasil, o que representa um aumento de 6,4% em relação ao ano anterior (MAPA, 2024).

Tanto nas cervejarias artesanal e industrial, todas as cervejas são feitas a partir de ingredientes básicos como água, fermento, lúpulo e o malte que pode ser de cevada, centeio, trigo e aveia. A fabricação de cerveja é realizada por meio das etapas de moagem do malte, mosturação, filtração, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase (Teles *et al*., 2023). No processo de fabricação de cerveja são formados três principais subprodutos: bagaço do malte, lúpulo residual e levedura residual. O bagaço de malte é um subproduto proveniente da mosturação do malte, sendo gerado após a separação e lavagem do mosto. De acordo com Sibhatu *et al*. (2020), cerca de 20 kg de bagaço de malte são gerados para cada 100 L de cerveja produzida.

O Bagaço de malte possui características nutricionais como o alto teor de umidade, proteínas e polissacarídeos, sendo destinado para nutrição animal. No entanto, os subprodutos cervejeiros são muito perecíveis podendo ocorrer contaminação microbiana (Trujillo *et al*., 2018), dificuldades de armazenamento e transporte devido a alta densidade e grandes volumes. Os problemas enfrentados tornam a destinação para nutrição animal menos lucrativa, visto que, as cervejarias estão cada vez mais em áreas urbanizadas (Rodriguez *et al*., 2023). Sendo assim, os subprodutos cervejeiros podem ter aplicações mais lucrativas para as próprias cervejarias, como em processos de cogeração gerando energia renovável e beneficiando o meio ambiente com o uso de um combustível limpo.

Considerando a grande dependência de combustíveis fósseis, que não são renováveis e impactam na poluição ambiental e emissão de gases de efeito estufa, é preciso aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global. O futuro precisa

de fontes de energia limpa e acessível. Assim, o uso de subprodutos agroindustriais para geração de energia é uma tecnologia que tem sido explorada nos últimos anos como alternativa ao uso de combustíveis fósseis. Em relação à aplicação do bagaço de malte na combustão de caldeira para fins energéticos, Cordeiro (2011) demonstrou que o bagaço de malte com umidade de 15% até 50% terá um poder energético de 2.656 kcal até 5.025 kcal viabilizando essa biomassa para uso como biocombustível em fornalhas, gerando energia elétrica para pequenas comunidades, por exemplo. Marchese *et al*. (2024) determinou um percentual de 80,5% de matéria volátil presente no bagaço de malte, o classificando como biocombustível de fácil ignição.

A aplicação do bagaço de malte no processo de conversão térmica viabiliza o uso de um combustível sustentável, o transformando em uma matéria-prima para um novo processo. Desta maneira, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial energético, eficiência da combustão e a redução do custo com combustível através da aplicação de uma mistura de bagaço de malte/madeira em uma caldeira para geração de energia na forma de vapor.

Metodologia

As biomassas (madeira e bagaço de malte (BM)) foram coletadas em uma microcervejaria da cidade de Marabá/PA – Brasil. O bagaço de malte utilizado é resultado do processo de malteação da cevada da marca BWS®. A coleta do BM foi feita após a etapa de lavagem/extração do processo de fabricação de chope da microcervejaria e armazenado em um recipiente hermeticamente fechado. O BM úmido e a madeira (Eucalyptus grandis) foram secados em estufa (Quimis) à 105ºC ± 5ºC durante 25 h, posteriormente moídas em moinho de facas (DeLeo) e peneiradas em peneiras padronizadas (série tyler) com granulometria inferior a 250 μm. As análises de caracterização foram feitas na sequência, para as amostras de BM puro, madeira pura, e para as misturas BM/madeira em diferentes proporções: 10%/90%; 30%/70%; 50%/50%; 70%/30% e 90%/10%.

Caracterização das amostras

A determinação da porcentagem mássica de umidade (U), matéria volátil (MV) e cinzas (CZ) foi realizada de acordo com as normas CEN/TS 14774-1 (2004), CEN/TS 15148 (2005) e CEN/TS 14775 (2004),

sendo o teor de carbono fixo (CF) determinado por diferença. Todas as análises foram realizadas em triplicata. O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado por meio da Equação 1 definida por Nhuchhen e Salam (2012) que, consiste em correlações baseadas nos parâmetros da análise imediata para biomassas lignocelulósicas.

Equação 1

$$PCS = 19{,}2880 - 0{,}2135 * \frac{MV}{CF} + 0{,}0234 * \frac{CF}{CZ} - 1{,}9584 * \frac{Cz}{MV}$$

Eficiência energética da caldeira*cz*

A determinação da eficiência energética da caldeira foi feita para quantificar a massa de combustível necessária para as misturas madeira/BM. A eficiência da caldeira (η) foi determinada a partir da Equação 2 (ELETROBRÁS-PROCEL, 2005), onde apresenta os dados e parâmetros de operação da caldeira: Vazão mássica do vapor produzido (ṁv) (kg/h); Entalpia do vapor saturado (Hv) (kJ/kg); Entalpia da água de alimentação (Ha) (kJ/kg); Vazão mássica do combustível (ṁc) (kg/h); Poder Calorífico Superior do combustível (PCS) (kJ/kg).

Equação 2

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (H_v - H_a)}{\dot{m}_c * PCS}$$

Produção do bagaço do malte seco

O bagaço de malte úmido foi seco por exposição solar. Neste experimento foram utilizados 198g de bagaço de malte úmido (BMU) adicionado a um recipiente de alumínio vazio. A amostra foi exposta diretamente ao sol pelo tempo total de 25 h e determinado o teor de umidade (no período da noite a amostra era armazenada em local protegido de orvalho). O cálculo da produção bagaço de malte seco se baseou na produção mensal de 15.000 L de chopp. A Equação 3 determina a quantidade de bagaço de malte seco gerado por batelada.

Equação 3

$$BMS = BMU - (BMU * U)$$

Redução de custo com o combustível

Para avaliar a redução do custo foi levado em consideração: madeira (Eucalyptus grandis – 374 kg/m^3) custando de 115 R$/m^3 (JESUS *et al*., 2017) e 15 h de operação da caldeira por batelada. A Equação 4

demonstra o cálculo do custo com madeira em uma batelada. Onde, C é custo do uso da madeira por batelada (R$); Pm é preço da madeira (R$/ m^3); m é a massa da madeira utilizada em uma batelada (kg); e D é a densidade aparente da madeira (kg/m^3).

Equação 4

$$C = P_m * \frac{m}{D}$$

A redução do custo (Rc) relacionado ao uso de somente madeira como combustível foi calculada comparando o custo com a aplicação das misturas de BM/madeira para as proporções 10%/90%; 30%/70%; 50%/50%; 70%/30% e 90%/10% no período de 180 dias. O percentual da redução do custo foi calculado por meio da Equação 5. Onde, Rc é a redução de custo (%); Cp é o custo do combustível utilizando as misturas (R$); e C é o custo por uso da madeira (R$).

Equação 5

$$Rc = \left[1 - \left(\frac{C_p}{C}\right)\right] * 100$$

Resultados e Discussão

Caracterização das amostras

Os resultados das análises de umidade, material volátil, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior das diferentes proporções de madeira e bagaço de malte estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise imediata e Poder calorífico superior do bagaço de malte e madeira puros e em diferentes proporções

Proporções	**U (%)**	**U (*in natura*) (%)**	**MV (%, b.s.)**	**Cz (%, b.s.)**	**CF (%, b.s.)**	**PCS (MJ/Kg)**
Madeira (100%)	4,84	-	80,58	0,22	19,19	20,39
Madeira (90%) /BM (10%)	5,02	-	79,73	0,72	19,54	19,02
Madeira (70%) /BM (30%)	5,80	-	79,67	1,52	18,80	18,63
Madeira (50%) /BM (50%)	6,13	-	78,53	2,77	18,69	18,47
Madeira (30%) /BM (70%)	6,86	-	78,72	3,29	17,98	18,39

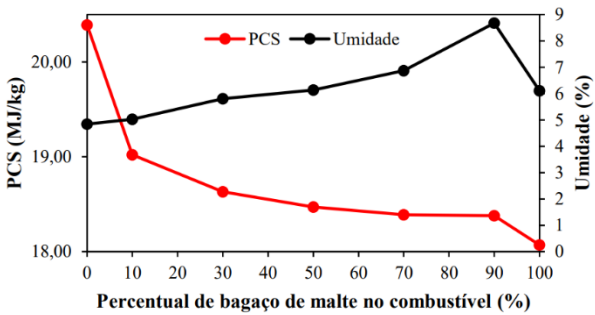
Madeira (10%) /BM (90%)	8,67	-	78,23	3,67	18,09	18,38
BM (100%)	6,10	76,33	81,50	4,03	14,46	18,07

O teor de umidade, logo após a coleta, do BM foi de 76,33%. O alto teor de umidade influencia negativamente quando se aplica o BM para cogeração de energia, pois quanto maior a umidade, maior será a dificuldade para que ocorra a combustão, necessitando de mais energia para secar a biomassa (reação endotérmica). Nas misturas de madeira e bagaço de malte, observa-se que a medida que aumenta a quantidade de BM na mistura, isso ocorre devido teor de umidade do BM ser maior que o da madeira. Os valores da umidade nas proporções de mistura (madeira/BM): 50%/50%, 30%/70% e 10%/90% foram maiores que a umidade do BM puro, devido as análises serem realizadas em datas diferentes. O percentual dos materiais voláteis do BM foi de 81,50%, resultado semelhante ao da madeira de 80,58%. Para Marchese *et al*. (2024) o BM possui 80,50% de materiais voláteis. A quantidade de materiais voláteis depende do teor de lignina da biomassa, e, quanto maior o percentual dos materiais voláteis menor será o teor de carbono fixo, consequentemente o combustível apresentará uma maior reatividade (FROEHLICH; MOURA, 2014). As misturas apresentaram quantidade de voláteis próximos e menores comparado as biomassas puras, possivelmente devido as análises ocorrerem em datas diferentes. Portanto, em relação aos voláteis, todas as proporções podem entrar em ignição de forma semelhante, visto que os compostos voláteis são inicialmente liberados quando a biomassa é aquecida e juntamente com oxigênio irão entrar em combustão. O percentual de cinzas do BM foi de 4,03%. Valores semelhantes foram encontrados por Maione (2019) de 3,38%. As cinzas presentes na biomassa se referem a compostos inorgânicos, minerais como cálcio, sódio, potássio, magnésio, alumínio, ferro, bário, estrôncio, manganês, cobre, zinco, fósforo, enxofre, cromo e silício (LUFT, 2016). Analisando a Tabela 1, conforme aumenta a quantidade de BM na mistura de combustível o teor de cinzas também aumenta, devido ao BM conter maior teor de cinzas do que a madeira. O percentual de carbono fixo do BM foi de 14,46%. O carbono fixo está diretamente relacionado com o teor de materiais voláteis e cinzas, e, segundo Cordeiro (2011) quando a biomassa apresenta elevado teor de carbono fixo a sua combustão se torna lenta, resultando em maior tempo de queima e permanência nos equipamentos de conversão térmica. Para

o percentual de carbono fixo nas misturas, nota-se que conforme aumenta a quantidade de BM na o teor de carbono fixo diminui. Resultado coerente, visto que o BM apresentou maiores teores de cinzas e voláteis, ou seja, maiores concentrações de compostos inorgânicos e compostos orgânicos leves.

O PCS do bagaço de malte foi de 18,07 MJ/kg, Machado *et al*. (2020) encontraram um valor de 18,16 MJ/kg, e Sanna *et al*. (2011) de 18,55 MJ/kg. Comparando com a madeira (20,39 MJ/kg), o resultado foi satisfatório visto que os valores foram próximos, isso demonstra que o BM possui viabilidade energética para produção de vapor. Sabe-se que quanto maior o PCS menor será quantidade de combustível utilizado no processo de combustão da caldeira, consequentemente reduzindo a quantidade de combustível. Para Dias (2019), o PCS é inversamente proporcional ao consumo e umidade do combustível. Na Figura 3 é apresentado os resultados de PCS e umidade em função das diferentes proporções de BM e madeira como combustível.

Figura 3 – Resultados de PCS e Umidade em função das diferentes proporções de BM e madeira como combustível



A Figura 3 demonstra uma queda acentuada do PCS após a mistura de BM/madeira de 10%/90% isso ocorre devido à diferença dos valores de PCS dos combustíveis puros. Conforme aumenta a proporção de BM na mistura, ocorre um aumento no teor de umidade. Dionízio *et al*. (2019) afirmaram que quanto maior a umidade da biomassa, menor será seu PCS, confirmando o comportamento do percentual de BM no combustível.

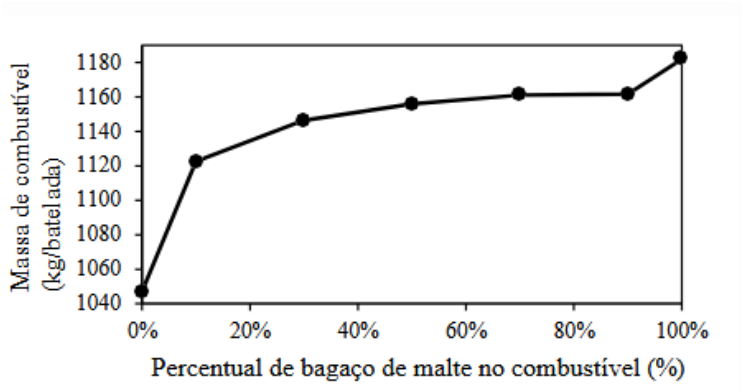
Eficiência da caldeira

A vazão de vapor (m_v) é um dado fornecido pelo fabricante da caldeira (400 kg/h de vapor). As entalpias do vapor e da água de ali-

mentação foram estimadas a partir de tabelas termodinâmicas, . H_v = 2.743,40 kJ/kg (para pressão de operação da caldeira de 450 kPa) e Ha = 104,83 kJ/kg (a 25ºC). A vazão mássica do combustível (m_c) corresponde quantidade média de madeira utilizada em uma batelada de valor 69,81 kg/h. O Poder calorífico superior (PCS) é de 20.399 kJ/kg (Equação 6). Dessa forma, a caldeira flamotubular, apresentou uma eficiência de 74,11% (Equação 2). Segundo a Eletrobrás-Procel (2005) as caldeiras do tipo flamotubular apresentam uma eficiência energética de no máximo 75% a 78%. Senger (2015) encontrou uma eficiência energética utilizando madeira em toras como combustível para o mesmo tipo de caldeira de 63,40%.

A Figura 4 apresenta as quantidades necessárias de massa de combustível para manter uma eficiência de 74,11% em relação ao percentual de BM na composição deste. Conforme aumenta o percentual de bagaço de malte (BM), a vazão mássica de combustível também aumenta, isso ocorre devido ao Poder Calorífico Superior (PCS) do bagaço de malte que é menor que o da madeira, necessitando de uma maior quantidade de combustível para manter a eficiência energética da caldeira. A produção por batelada de bagaço de malte seco (BMS) foi de aproximadamente 90,30 kg, isto é, considerando a produção mensal de 15.000 L de chope e a umidade do bagaço de malte de 76,33% (na secagem ao sol).

Figura 4 – Quantidade de combustível para uso na caldeira em diferentes proporções de bagaço de malte e madeira



A Tabela 4 mostra o tempo de acúmulo, a quantidade acumulada, a quantidade utilizada pela caldeira e o excedente do BM para diferentes proporções no período de 180 dias.

O acumulativo do consumo de bagaço de malte seco (BMS) pela caldeira nas diferentes proporções de mistura de combustíveis depende da quantidade diária acumulada, ou seja, para 10% BM /90% madeira, são necessários o acúmulo de 112,28 kg de BMS, enquanto para a proporção 30% BM /70% madeira; 50% BM /50% madeira; 70% BM /30% madeira e 90% BM /10% madeira, são necessários, 343,94 kg; 577,95 kg; 812,70 kg e 1045,44 kg, respectivamente. Portanto, conforme aumenta a quantidade de BM na mistura de combustível o tempo de espera para se obter a quantidade necessária para uso na caldeira é maior.

Após o acúmulo e uso do bagaço (BMS) como combustível na caldeira, percebeu-se uma quantidade excedente para as seguintes proporções de mistura de BM/madeira: 10%/90%, 30%/70%, 50%/50% e 90%/10% do material necessitando um armazenamento provisório.

Tabela 4 – Relação da proporção da mistura de combustíveis com o tempo de acúmulo, a quantidade acumulada e utilizada na caldeira e o excedente de bagaço de malte seco (BMS) após a combustão

Proporções	Tempo de acúmulo (dias)	BMS acumulado (kg)	BMS na caldeira (kg)	Excedente de BMS (kg)
Madeira (90%) /BM (10%)	15	180,60	112,28	68,32
Madeira (70%) /BM (30%)	25	361,20	343,94	17,26
Madeira (50%) /BM (50%)	40	632,10	577,95	54,15
Madeira (30%) /BM (70%)	50	812,70	812,70	0,00
Madeira (10%) /BM (90%)	65	1.083,60	1.045,44	38,16

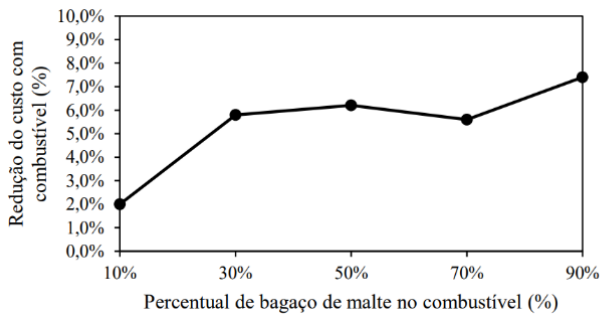
A Tabela 4 também mostra o tempo necessário de espera para se obter a quantidade necessária para uso do bagaço de malte (BM) na mistura de combustíveis. O tempo de acúmulo de BMS depende da quantidade diária produzida, ou seja, para a proporção madeira(90%)/ BM(10%), foram acumulados no 15º dia 180,60 kg de bagaço de malte seco, porém só foram utilizados na combustão da caldeira 112,28 kg gerando um excedente de 68,32 kg (este será armazenado e servirá para a próxima combustão). Enquanto nas proporções de madeira (70%) / BM (30%); madeira (50%)/BM(50%); madeira(30%)/BM(70%); ma-

deira (10%) e BM (90%) o tempo de acúmulo e o excedente de BMS foram respectivamente 25 dias e 17,26 kg; 40 dias e 54,15 kg; 50 dias e 0,00 kg; 65 dias e 38,16 kg. A grande vantagem desse excedente é que dependendo da proporção o tempo de acúmulo diminui, isto é, o tempo de espera para uso do BM como combustível será menor.

Redução de custo com combustível

Para reduzir o custo é necessário a redução do uso da quantidade de madeira. A Figura 5 mostra o comportamento do percentual de redução do custo com combustível em função da quantidade de bagaço de malte na mistura de combustíveis. A redução do custo depende da diminuição do consumo de madeira no processo de combustão da caldeira. A aplicação de 10% BM/90% madeira apresentou uma redução do custo de 2,0%, enquanto para as proporções 30% BM/70% madeira; 50% BM/50% madeira; 70% BM/30% madeira e 90% BM/10% madeira, apresentaram respectivamente uma redução de 5,8%, 6,2%, 5,6% e 7,4%. Conforme o teor de bagaço de malte (BM) aumenta na mistura de combustível a redução do custo também aumenta, com exceção da proporção 70% BM /30% madeira, onde houve uma queda de 0,6 ponto percentual em relação à proporção 50% BM /50% madeira e 0,2 ponto percentual em relação a proporção 30% BM /70% madeira. Isso ocorreu mediante à quantidade de madeira consumida no período de 180 dias aumentar na proporção bagaço/madeira de 70/30 comparado as proporções 30/70 e 50/50. Outro fator que influenciou foi a proximidade do Poder Calorífico Superior e da vazão mássica de combustível entre as proporções.

Figura 5 – Percentual da redução de custo em relação as proporções de bagaço de malte na mistura de combustíveis



Conclusão

A caracterização do bagaço de malte permitiu uma análise ampla de suas propriedades energéticas. O PCS do bagaço do malte foi satisfatório visto que se aproximou do PCS da madeira. A eficiência da caldeira utilizando a madeira como combustível foi de 74,11%, com a aplicação do bagaço de malte a eficiência foi mantida e a quantidade de madeira para combustão foi reduzida. A proporção 90% BM/10% madeira apresentou uma redução do custo com combustível de 7,4% no período de 180 dias. A aplicação do bagaço de malte para fins energéticos se mostrou uma medida bastante vantajosa, já que se trata de aproveitamento de um co-produto agroindustrial. O reaproveitamento do bagaço de malte proporciona benefícios sociais, ambientais e econômicos, mas para isso são necessárias políticas de incentivo, processos mais eficientes e rentáveis, possibilitando o uso sustentável dos recursos naturais.

Referências

CEN/TS 14774-1: 2004. European Committee for Standardization Solid biofuels – Methods for determination of moisture content – Oven dry method – Part 1: Total moisture – Reference method (English version). August, 2004.

CEN/TS 14775-1: 2004. European Committee for Standardization Solid biofuels – Methods for determination of ash content (English version). August, 2004.

CEN/TS 15148: 2005. European Committee for Standardization Solid biofuels – Methods for determination of the contente of volatile matter (English version). December, 2005.

CORDEIRO, L. G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos.** João Pessoa, 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba.

CORDERO, T. *et al.* Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis**. Fuel,** v. 80, p. 1567-1571. 2001.

DIONIZIO, A. F., Agregação de valor a resíduos agroindustriais para fins energéticos. Revista de Ciências Agrárias. v. 42, n. 2. Lisboa, jun. 2019.

ELETROBRÁS-PROCEL. Eficiência Energética no Uso de Vapor. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. B. D. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações.

Tecnologia e Tendências. Ano 13 – v. 9 – n. 1 – 1º sem. 2014.

JESUS, M. S. Caracterização Energética de diferentes espécies de Eucalyptus**. Floresta,** Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2017.

LUFT, L. **Hidrólise enzimática do bagaço de malte usando tecnologias alternativas visando à obtenção de açucares fermentescíveis**. 2016. 135 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2016.

MACHADO, L. M. M. et al. Produção de char a partir da pirólise de um subproduto da indústria cervejeira.

Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unipampa, v. 10, n. 2, 2020.

MAIONE, N. R. **Pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte (BSG) visando a produção de etanol de segunda geração.** 2019. 70 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2019.

MAPA – Anuário da Cerveja 2024 : ano de referência 2023 /Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : MAPA/SDA, 2024. ISBN: 978-85-7991-235-1

MARCHESE, L. *et al.* Exploring bioenergy prospects from malt bagasse: Insights through pyrolysis with multi-component kinetic analysis and thermodynamic parameter estimation. Renewable Energy, v. 226, p. 120453, 2024.

NHUCHHEN, D. R.; SALAM, P. A. Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: a new approach. **Fuel**, v. 99, p. 55-63. 2012.

RODRIGUEZ, L.M., CAMINA, J.L., BORRONI, V., PÉREZ, E.E., Protein recovery from brewery solid wastes.

Food Chemistry, v. 407, 134810, 2023.

SENGER, R. Análise do rendimento térmico de uma caldeira mista alimentada com lenha em toras. 2015. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. SIBHATU, H. K. et al. Ferulic acid production from brewery spent grains, na agro-industrial waste. **LWT – Food Science and Technology (2020)**.

TELES, J.C., ROVEROTO, G.P., BARANA, A.C., Geração de resíduos em uma microcervejaria: balanço de massa e alternativas de tratamento. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade,** Curitiba, v. 12, n. 24, p. 14-27, 2023.

TRUJILLO, J.G., TEIXEIRA, MA.S., LIMA, H.A.A., MONTÃO, D.P., ROSS, T. B., RIET-CORREA, G.,

CERQUEIRA, V.D., JÚNIOR, P.S.B., Intoxicação por etanol em bovinos alimentados com bagaço de malte acrescido de levedura de cerveja. **Pesq. Vet. Bras.** 38, 03, 2018.

Utilização de micromolinete educacional para monitoramento de nascentes urbanas

Andrea Sartori Jabur[1], Ana Cláudia Ueda[2], Guilherme Rossetto[3], Mariana da Silva Slaghenaufi[4], Fábio Kurt Schneider[5]
[1]UTFPR – Campus Apucarana (jabur@utfpr.edu.br)
[2] UTFPR – Campus Apucarana (anaueda@utfpr.edu.br)
[3]UTFPR – Campus Curitiba (grossetto@utfpr.edu.br)
[4]UTFPR – Campus Apucarana (marianaslaghenaufi@alunos.utfpr.edu.br)
[5]UTFPR – Campus Curitiba (fabioks@utfpr.edu.br)

Resumo: Este trabalho teve como finalidade avaliar a vazão de uma nascente urbana, analisar o comportamento do regime de escoamento ao longo do período em estudo e verificar a adequação da metodologia empregue em relação ao comportamento da vazão. A área em análise situa-se num bairro residencial, inserido na bacia hidrográfica do Ribeirão Raposa, na cidade de Apucarana, no estado do Paraná. A revitalização da nascente iniciou-se em 2018, com as medições das vazões realizadas em 2023. Para determinar as vazões locais, foi utilizado um micromolinete educacional, construído com um sensor de fluxo baseado no efeito Hall do tipo Sea YF-S201, com taxas de fluxo variando entre 1 e 30 L/min. Os resultados obtidos mostraram vazões entre 1,178 e 1,342 L/s, classificando a nascente como sendo de quinta ordem, com regime subcrítico e perene.

Palavras-chave: Nascentes Urbanas. Hidrometria. Micromolinete educacional.

Use of educational micro current meter for monitoring urban springs waters

Abstract: The objective of this study was to measure the flow of an urban spring, to analyze the behavior of the flow regime during the study period and to verify the adequacy of the methodology used regarding the flow behavior. The study area is located in a residential urban inserted in the Watershed of Ribeirão Raposa, in the city of Apucarana, Paraná. The revitalization of the urban spring water began in 2018 and the measurement of flows in 2023. To obtain the local flows, an educational micror current meter used, built with a hall effect flow sensor type Sea YF-S201, with flow rates ranging from 1 to 30 L/min. The results obtained showed flows between 1.18 and 1.24 L/s, which classifies the spring as fifth-order, with subcritical and perennial regime.

Key words: Urban Spring Water. Hidrometry. Education Current Meter .

Introdução

De acordo com o Código Florestal Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 (conhecido como novo "Código Florestal"), as nascentes são definidas como afloramento naturais do lençol freático e iniciam os processos de formação de um manancial superficial (COSTA *et al.*, 2023).

Apesar do novo Código Florestal estipular as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d´águas perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 metros, poucas cidades mantêm esta área de proteção sendo muitas vezes são ocupadas por bairros. Com a urbanização as nascentes são descaracterizadas ou suprimidas com canalizações tamponadas.

O ambiente urbano pode ser considerado como a principal expressão espacial das pressões antrópicas sobre a dinâmica pluvial e fluvial (FELIPPE *et al*., 2013). Segundo Suguio; Bigarella (1990) o conhecimento das características fluviais é importante não somente no que concerne aos recursos hídricos, tanto do ponto de vista da hidráulica de rios como no controle do processo erosivo, do ponto de vista sedimentológico, geomorfológico e do planejamento regional.

O monitoramento da vazão das nascentes é fundamental para o conhecimento quantitativo da água em propriedades agrícolas (COSTA *et al*.; 2023) e no planejamento ambiental para áreas urbanas. O objetivo geral deste trabalho é do monitoramento da vazão em uma nascente urbana com a utilização de um micromolinete educacional. A nascente em estudo abastece o córrego Ouro Fino, localizado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Raposa, na cidade de Apucarana, Paraná.

Procedimentos Metodológicos

Área de Estudo

O município de Apucarana foi desenvolvido entre três bacias hidrográficas principais, para a região norte do Paraná, a bacia hidrográfica do rio Tibagi, do rio Pirapó e do rio Ivaí (MANOSSO, 2005). Por ser uma cidade que apresenta alta declividade e várias nascentes (cabeceiras de drenagem), os corpos hídricos locais sofreram a pressão urbana e a maioria estão canalizados ou drenados sem área de preservação ambiental.

O córrego Ouro Fino faz parte da bacia hidrográfica do Ribeirão Raposa e este afluente do Rio Tibagi. A nascente está localizada no bairro Núcleo Habitacional Dom Romeu Alberti, na Latitude 23,524 S e Longitude 51,434 W, com a altitude de 836,3 m (Figura 1). A área é de propriedade da prefeitura do município e abriga duas hortas comunitárias.

Figura 1 – Nascente Ouro Fino com a instalação do filtro solo-cimento



Fonte: autores (2025)

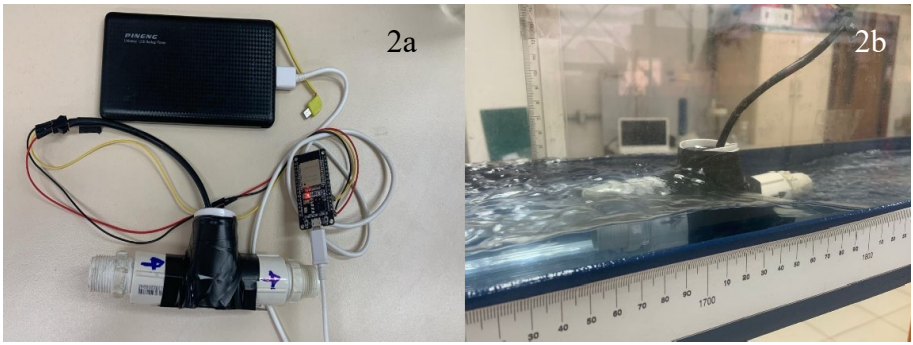
Hidrometria

Para a realização da hidrometria foi utilizado um micromolinete educacional (Figura 2). Para confecção do micromolinete adotou-se um sensor de fluxo baseado em efeito Hall tipo Sea YF-S201, com taxas de fluxo variando de 1 a 30 L/min foi escolhido para ser usado para medição direta e indireta de fluxos nesta faixa de valores. A estrutura para alocação da turbina e o braço para disposição do equipamento para possibilitar a medição foram confeccionados em material polimérico utilizando impressora 3D.

As velocidades coletadas pelo micromolinete foram ajustadas por meio de um modelo matemático definido pela relação entre a velocidade obtida pelos flutuadores e a velocidade adquirida pelo micromolinete, ambos no canal hidráulico (Slaghenaufi *et al*.; 2024). O protótipo atual trabalha com comunicação do tipo *Bluetooth* com o aplicativo no celular que está emparelhado com o microcontrolador usando protocolos SPP. Este tipo de comunicação foi escolhido devido à possível indispo-

nibilidade de internet durante as medições em campo, por exemplo num trecho de um rio.

Figura 2 – Micromolinete educacional. (2a) o micromolinete e (2b) a calibração do micromolinete.



Fonte: autores (2025)

Resultados

Com a coletadas de dados realizados setembro de 2023 e março de 2024, os autores Carmo *et al.* (2023) classificou a nascente como perene e de sexta ordem (valores de 0,1 a 1 L/s), com média de 0,69 L/s (período chuvoso e de estiagem). Os dados foram obtidos pelo método volumétrico de medição de vazão. O método volumétrico consiste em medir o tempo decorrido (t) para que um determinado volume de água ocupe por completo um recipiente de volume conhecido (vol). As medições pelo método volumétrico foram feitas em uma amostragem de 10, para se obter uma média final. Entretanto, devido às dificuldades de coleta pelo método volumétrico, causadas pelo filtro de solo cimento e pela necessidade de inserir um balde de 10 litros no local, decidiu-se utilizar o micromolinete.

O micromolinete apresenta a facilidade de transporte para os trabalhos de campo e apresenta uma hélice com diâmetro de 1,1 cm. Este equipamento destina-se à medição de velocidades (vazão) em filetes d'água a partir de 2 cm de coluna d'água, que ocorrem em várias nascentes na região da bacia hidrográfica do Ribeirão Raposa.

A nascente possui o fundo como rocha basáltica, uma vez que o local apresenta o afloramento rochoso resultante da declividade da bacia hidrográfica, de aproximadamente 3%. O ponto de coleta (Figura 3) para a medição da vazão ocorreu a 3 metros do filtro de solo cimento,

para a estabilização do fluxo de água. Os valores da vazão do micromolinete eram repassados para o aplicativo instalado em um *smartphone*, que facilitou a obtenção de dados durante todo o experimento.

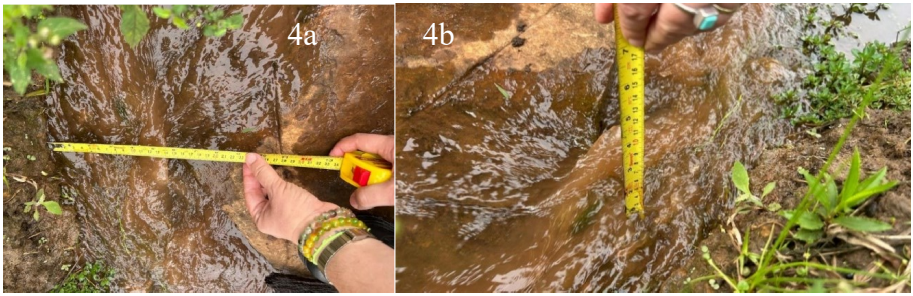
Figura 3 – Coleta de dados com micromolinete



Fonte: autores (2025)

Para a realização da hidrometria, adotou-se um ponto onde o fluxo da água apresentava uma área com melhor formato, para os cálculos da área molhada (Figura 4A e 4B). As medidas referentes à largura e à profundidade da lâmina d'água foram obtidas utilizando uma trena.

Figura 4 – Levantamento da seção transversal (área molhada). (4a) largura da seção (15,5 cm) e (4b) altura da lâmina de água (2,5 cm)



Fonte: autores (2025)

Com a coletada dos dados os cálculos das vazões foram realizados em uma planilha eletrônica. O micromolinete, devido a sensibilidade da hélice, apresentou 7 dados de velocidades. Para o cálculo da vazão final, considerou-se a área molhada de 0,003875 m^2. A correção da velocidade foi efetuada através da aplicação da equação de calibração do micromolinete.

Tabela 1 – valores da coleta da vazão da nascente

Medidas	Velocidade (m/s)	Velocidade corrigida (m/s)	Vazão (m^3/s)	Vazão L/s	Froude	Classificação
1	0,468	0,328	0,001273	1,273	0,66	subcrítico
2	0,488	0,334	0,001296	1,296	0,68	subcrítico
3	0,526	0,346	0,001342	1,342	0,70	subcrítico
4	0,507	0,340	0,001319	1,319	0,69	subcrítico
5	0,390	0,304	0,001178	1,178	0,61	subcrítico
6	0,449	0,322	0,001249	1,249	0,65	subcrítico
7	0,430	0,316	0,001226	1,226	0,64	subcrítico

A partir dos resultados obtidos, a vazão média foi de 1,27 L/s. Dessa forma, a nascente foi reclassificada para a ordem 5, com vazões variando entre 1 e 10 L/s. A coleta foi realizada em outubro de 2024, durante um período em que houve uma precipitação acumulada de 274 mm, enquanto a média mensal para Apucarana nesse mesmo mês é de 180 mm (média calculada ao longo de 10 anos, conforme dados do SIMEPAR). No momento da coleta, a nascente apresentou um número de Froude abaixo de 1, o que classifica o escoamento como subcrítico.

Conclusão

A medição de vazões é essencial para analisar a sazonalidade dos corpos d'água, permitindo avaliar as características hídricas, o monitoramento ambiental e a qualidade da água. A nascente em análise, localizada no córrego Ouro Fino, demonstra um excelente fluxo de água, cuja disponibilidade hídrica está sendo estudada para uso na horta comunitária situada próxima à área de proteção ambiental.

Apesar da impermeabilização da cabeceira de drenagem e da ausência de mata ciliar – que atualmente está passando por um processo de revitalização – a vazão permanece com um fluxo constante, sendo classificada como uma nascente perene. O processo de revitalização do local iniciou-se desde 2018 e passa por várias modificações, com plantio da vegetação ciliar e a instalação do filtro solo-cimento para auxiliar no fluxo da água.

O método utilizado revelou-se uma alternativa eficiente para a medição de pequenas vazões em nascentes, utilizando um equipamento que é acessível e facilmente transportável. Embora tenha havido uma

limitação na quantidade de dados sobre vazão coletados durante o estudo, é fundamental destacar que o micromolinete educacional possibilitou a medição da vazão da nascente com uma lâmina de água de 2,5 cm, algo inviável com outros métodos, como o flutuador ou molinete hidrométrico.

O micromolinete se mostrará valioso em corpos d'água com lâminas reduzidas, variando entre 5 e 10 cm. A simplicidade na coleta de dados e a possibilidade de medir a velocidade através de um aplicativo para celular contribuem para a precisão dos resultados, especialmente em situações onde as coletas são feitas individualmente.

Para uma análise mais detalhada do comportamento hidrológico da área investigada, é crucial ter acesso a uma série histórica de medições de vazão. Assim sendo, seria ideal realizar uma coleta mais ampla ao longo de diferentes períodos, permitindo observar os principais processos que ocorrem na nascente e garantir sua preservação. Com o uso do micromolinete hidrométrico, será possível expandir a coleta de informações fluviométricas para estabelecer um padrão de vazões e auxiliar no gerenciamento ambiental.

Referências

CARMO, B. D do, PIRES, L. M. F., JABUR, A. S. Aplicação do método volumétrico para determinações das vazões na nascente Ouro Fino – Apucarana, Pr. IN: Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica. Curitiba, Pr, 2, **Anais...**2023. Código Florestal Brasileiro (2012). Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil03/leis/L4771.htm . Acesso em 10/04/2024.

COSTA, A. N. da, CONDE, R. C. C., BORTOLINI, M. A. de A., ROCHA, L. P., COSTA, A. de F. S da, CORONEL, J. O. Monitoramento de vazão de nascentes em propriedades rurais de Santa Leopoldina/ES. IN: Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental. Vitória/ES. 7, **Anais ...** 2023.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR A. P. Relação entre precipitação e vazão de nascentes no Município de Lagoa Santa-MG. IN: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, RS, 20, **Anais...** 2013.

MANOSSO, F. C. O estudo da paisagem no município de Apucarana-PR: As relações entre a estrutura geoecológica e a organização do espaço.131 f. Dissertação Mestrado em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

SLAGHENAUFI, M. da S., ROSSETTO, G., UEDA, A. C., JABUR, A. S., SCHNEIDER, F. K. Sistema de medição para estimativa de vazão em canais hidráulicos de escoamento livre para uso em ensino, pesquisa e extensão. IN: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belém/PA, 15, **Anais...** 2024.

SUGUIO, K., BIGARELLA, J. J. Ambientes fluviais. 2 ed. Florianópolis: Editora da USFC: Editora da Universidade Federal do Paraná. 1990.

O potencial do biossólido para a recuperação de áreas degradadas pela mineração

Lucas Augusto Pedroso Coelho, Diego Henriques Aguiar de Melo, Lucas de Almeida Chamhum-Silva, Marina de Machado Medeiros, Sandra Aparecida Lima de Moura

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/Universidade Federal de Ouro Preto (lucas.pedroso@aluno.ufop.edu.br; diego.henriques@aluno.ufop.edu.br; lucas.chamhum@aluno.ufop.edu.br; marina.medeiros@ufop.edu.br; sandramoura@ufop.edu.br)

Resumo: A mineração, embora fundamental, causa impactos ambientais significativos, como a degradação de grandes áreas, cuja recuperação é essencial para mitigar tais impactos e promover a sustentabilidade ambiental, alinhando-se aos ODS 12, Consumo e Produção Sustentáveis e 15, Vida Terrestre. Nesse contexto, o uso de biossólidos combinados ao rejeito de mineração de ferro surge como uma estratégia promissora para a formação de tecnossolos, enriquecendo solos degradados, viabilizando a revegetação. Este estudo investigou o potencial do biossólido para enriquecer solos degradados e auxiliar na recuperação de áreas degradadas pela mineração. O lodo de esgoto passou por estabilização alcalina com a adição de 27,95 kg de cal (25% da massa de sólidos totais), e após 10 dias, foram coletados aproximadamente 25 kg do biossólido produzido, sendo analisado quanto à presença de substâncias químicas, nutrientes e *Escherichia coli.* O rejeito de mineração, cedido pelo Grupo de Pesquisas Reciclos CNPq, também foi caracterizado quanto aos seus teores nutricionais. Os resultados indicaram que o biossólido, além das reduções nas concentrações de metais pesados, apresentou parâmetro microbiológico dentro do limite legal (<10^3 NMP/gST). Seu alto valor nutricional, com destaque para fósforo (3.203 mg/kg), potássio (375,29 mg/kg) e ferro (7.801,72 mg/kg), pode suprir as deficiências do rejeito, que contém baixos teores de fósforo (7,7 mg/dm^3) e potássio (11,0 mg/dm^3). Assim, a aplicação do biossólido ao rejeito de mineração tende a promover melhorias nutricionais para solos de ambientes degradados pela mineração, contribuindo para a restauração ambiental, alinhando-se ao ODS 15, viabilizando a restauração de ecossistemas impactados pela mineração.

Palavras-chave: Mineração. Biossólido. Recuperação.

The potencial of biosolids for the recovery of mining-degraded areas

Abstract: Mining, although essential, causes significant environmental impacts, such as the degradation of large areas, whose recovery is crucial to

mitigating these impacts and promoting environmental sustainability, aligning with SDG 12 (Responsible Consumption and Production) and SDG 15 (Life on Land). In this context, the use of biosolids combined with iron mining tailings emerges as a promising strategy for the formation of technosols, enriching degraded soils and enabling revegetation. This study investigated the potential of biosolids to enrich degraded soils and assist in the recovery of mining-degraded areas. The sewage sludge underwent alkaline stabilization with the addition of 27.95 kg of lime (25% of the total solids mass), and after 10 days, approximately 25 kg of the produced biosolid was collected and analyzed for the presence of chemical substances, nutrients, and *Escherichia coli*. The mining tailings, provided by the Reciclos CNPq Research Group, were also characterized in terms of their nutritional content. The results indicated that the biosolid, in addition to reductions in heavy metal concentrations, presented microbiological parameters within legal limits (<10^3 MPN/gTS). Its high nutritional value, particularly in phosphorus (3,203 mg/kg), potassium (375.29 mg/kg), and iron (7,801.72 mg/kg), can compensate for the deficiencies of the tailings, which contain low levels of phosphorus (7.7 mg/dm^3) and potassium (11.0 mg/dm^3). Thus, the application of biosolids to mining tailings tends to promote nutritional improvements in soils from mining-degraded environments, contributing to environmental restoration and aligning with SDG 15 by enabling the restoration of ecosystems impacted by mining.

Key words: Mining. Biosolid. Recovery.

Introdução

A atividade de extração mineral é essencial para a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico. No entanto, a mineração causa impactos negativos ao meio ambiente, principalmente as minas a céu aberto, comuns no Brasil, onde ocorrem alterações físicas significativas na paisagem devido à abertura de cavas e disposição de rejeito (Curi, 2017; IBRAM, 2016). A intensidade desses impactos varia com o tipo de minério e seus processos de beneficiamento, exigindo técnicas cada vez mais avançadas de minimização desses impactos, visto que áreas mais degradadas têm menor capacidade de autorregeneração (Curi, 2017).

O rejeito de mineração, dentre as suas diferentes possibilidades de destinação, pode ser utilizado para preencher áreas já mineradas (Yunhong *et al.*, 2016), podendo alcançar um certo crescimento de plantas tolerantes nesses locais, porém, em outros, não ocorre a revegetação de forma natural, necessitando, portanto, de ações externas, como a adição de fontes que melhorem as características físicas, químicas e biológicas do solo, criando condições favoráveis para a revegetação.

A associação de resíduos orgânicos e resíduos inorgânicos como o rejeito de mineração de ferro, dá origem aos chamados tecnossolos, onde, por meio da junção desses resíduos, proporcionam o crescimento da vegetação e de microrganismos do solo, além de aumentar o seu conteúdo nutricional, sua estrutura e sua capacidade de retenção de água (Ouédraogo *et al.*, 2024; Soria *et al.*, 2024).

Ruiz *et al.* (2023) destacaram que os tecnossolos são uma solução promissora para uma mineração ambientalmente amigável. Os autores mostram que esses solos podem compensar cerca de 60% das emissões de CO_2 relacionadas às mudanças no uso da terra para atividades minerárias no Brasil, indo de encontro aos ODS 12, 13 e 15, consumo e produção responsáveis, ação contra a mudança global do clima e vida terrestre, respectivamente. Carabassa *et al.* (2020) também discorrem sobre o potencial de sequestro de carbono dos tecnossolos. O substrato foi produzido a partir de uma mistura de fragmentos de solos rochosos de diversas pedreiras de calcário adubados com biossólido. Após 10 anos, o tecnossolo demonstrou um aumento três vezes maior da concentração de carbono orgânico no solo quando comparado ao substrato sem adubação. Os autores ainda enfatizam que os tecnossolos geram serviços ecossistêmicos do solo, como habitats biológicos, além do sequestro de carbono.

Considerando esses fatores, o lodo de esgoto sanitário, subproduto do tratamento de esgoto, surge como uma alternativa sustentável para melhorar a qualidade de solos degradados, devido à sua riqueza em matéria orgânica (Kriguel, 2015). No entanto, o lodo contém patógenos, metais pesados e elementos orgânicos que representam perigo à saúde pública. Segundo a Resolução nº 498/2020, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2020), é necessária uma etapa de higienização prévia à sua utilização. Após a higienização e atendidos os padrões legais definidos na Resolução, o lodo beneficiado se torna um material apto para uso em solos, denominado biossólido (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014), com potencial para a formação de tecnossolos.

O processo de estabilização alcalina ou caleação, é uma das formas de higienização do lodo de esgoto. Esse processo consiste na adição de uma certa quantidade de cal, geralmente entre 30% a 50% da massa seca de lodo, ao lodo, de modo a aumentar o seu pH para 12, resultando

em significativa redução da população de microrganismos patogênicos (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014).

Jamal, Norieh e Farzadkia (2011) avaliaram a eficácia de diferentes doses de cal no lodo de esgoto para a sua estabilização. O pH aumentou de 7,0 para 12,5, e uma dose de 0,4 g de cal hidratada/g de sólidos totais foi suficiente para inativar coliformes fecais ($<10^3$ NMP/g sólidos totais), produzindo um biossólido classificado como Classe B, conforme a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, adequado como condicionador de solos.

Pasoń e Stańczyk-Mazanek (2023) investigaram o efeito da estabilização alcalina na redução de bactérias resistentes a antibióticos, especialmente as da família *Enterobacteriaceae*, avaliando a eficácia do processo em eliminar bactérias patogênicas e reduzir a sua resistência a antibióticos. Utilizando três dosagens diferentes de cal hidratada (0,1, 0,2 e 0,4 kg de cal por kg de matéria seca de lodo), ao longo de três meses foi monitorada a redução bacteriana. Os resultados obtidos mostraram que as doses de 0,2 e 0,4 kg de cal foram eficazes para reduzir a contagem de bactérias em 6 a 8 ordens de magnitude, atingindo níveis aceitáveis de higienização. Além disso, a calagem pôde elevar o pH do lodo para valores entre 11 e 12, valores nos quais a grande maioria das bactérias são eliminadas.

Silva *et al.* (2023) determinaram a eficiência do processo de estabilização alcalina na concentração de metais pesados no lodo de esgoto sanitário antes e após o processo. Após testadas diferentes proporções de cal hidratada, os autores encontraram uma proporção ideal de cal para que o lodo fosse estabilizado e higienizado, sendo de 30%, pois foi a proporção onde se obteve o aumento do pH para 12 por no mínimo 2 horas e maior que 11,5 pelas próximas 22 horas. Deste modo, os resultados obtidos demonstraram uma redução significativa das quantidades de metais pesados no lodo, como: bário (209,0 mg/kg para 162,0 mg/kg), arsênio (2,5 mg/kg para <1,0 mg/kg), selênio (2,1 mg/kg para 1,6 mg/kg), chumbo (30,0 mg/kg para 24,6 mg/kg), cobre (214,0 mg/kg para 168,0 mg/kg), cromo (1000,0 mg/kg para 64,6 mg/kg), molibdênio (50,0 mg/kg para 1,6 mg/kg), níquel (420,0 mg/kg para 12,1 mg/kg) e zinco (2800,0 mg/kg para 990,0 mg/kg).

O presente trabalho tem por objetivo investigar o potencial da utilização de biossólido de lodo de esgoto sanitário no rejeito de mineração de ferro, destacando a sua capacidade de enriquecer com nutrientes o

tecnossolo produzido, podendo, futuramente, auxiliar nos processos de revegetação e recuperação de áreas degradadas pela mineração, indo de encontro aos Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Metodologia

Estabilização alcalina do lodo de esgoto sanitário

O lodo de esgoto utilizado no presente trabalho é oriundo da ETE Onça, localizada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. O lodo desidratado (após processo de centrifugação) foi encaminhado em caçamba do tipo *brooks*, com volume aproximado de 3 m³ ao Centro de Treinamento e Pesquisa em Saneamento (CePTS), localizado na ETE Arrudas, também na cidade de Belo Horizonte. De posse do material, foram coletadas amostras de diversos pontos da pilha de lodo, para caracterização quanto aos parâmetros de sólidos totais (ST) e voláteis, teor de carbono e nitrogênio total, fundamentais para o dimensionamento do tratamento proposto, a estabilização alcalina, através do uso de cal hidratada.

A massa inicial de lodo úmido processado foi de 430 kg. O resultado obtido para ST foi de 26%, ou seja, 111,8 kg de ST. De posse desses resultados, foi pesada a quantidade correspondente aos 111,8 kg de ST, aproximadamente. A massa de cal incorporada ao tratamento foi de 27,95 kg totalizando 25% da massa de ST do lodo, conforme descrito por Andreoli *et al*. (2021). A mistura entre o lodo e a cal ocorreu em uma betoneira de volume igual a 400 l e, após cada revolvimento, a mistura é descarregada ao solo e essa operação se repetia até a totalidade da mistura ser processada. Em seguida, o material foi armazenado, de modo a formar uma pilha de aproximadamente 0,3 m de altura e 1,2 m² de área.

Os parâmetros operacionais monitorados durante o processo, assim como os valores de referência para o seu encerramento, foram: sólidos totais (>50%), relação sólidos voláteis/sólidos totais (<65%) e pH (>12 por um período mínimo de duas horas) conforme a Resolução CONAMA nº 498/2020 (CONAMA, 2020), para obtenção de biossólido Classe B.

Por fim, passados 10 dias após o início do processo, foram coletados aproximadamente 25 kg do biossólido, onde uma amostra desse

montante foi enviada ao laboratório para análises quanto a presença de substâncias químicas (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco), macro e micronutrientes (cálcio, fósforo, magnésio, potássio, nitrogênio, ferro e manganês) e parâmetro microbiológico (*Escherichia coli*). O mesmo foi feito para o lodo de esgoto sanitário.

Coleta e caracterização do rejeito de mineração de ferro

O rejeito de mineração de ferro, foi fornecido pelo Laboratório Reciclos – Grupo de Pesquisas em Resíduos Sólidos CNPq, localizado na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), *campus* Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais. Com relação à sua caracterização, foram analisadas, em laboratório, as suas características químicas como pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, fósforo remanescente, soma das bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na), capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica total, percentagem por saturação de bases, percentagem de saturação por alumínio, ferro, zinco, manganês, cobre, sódio, nitrogênio e matéria orgânica.

Resultados

Estabilização alcalina do lodo de esgoto sanitário

Os resultados obtidos após o processo de estabilização alcalina do lodo de esgoto sanitário estão descritos na tabela abaixo.

Tabela 1 – Análise química e microbiológica do lodo de esgoto e do biossólido

Parâmetros	CONAMA nº 498/20		Lodo de Esgoto	Biossólido
	Classe 1	Classe 2		
Arsênio (mg/kg)	41	75	2,81	1,95
Bário (mg/kg)	1300	1300	169,89	109,79
Cádmio (mg/kg)	39	85	<0,03	<0,03
Chumbo (mg/kg)	300	840	19,83	12,77
Cobre (mg/kg)	1500	4300	85,33	55,48
Cromo (mg/kg)	1000	3000	34,83	22,82
Mercúrio (mg/kg)	17	57	0,09	<0,0038
Molibdênio (mg/kg)	50	75	4,45	3,12

Níquel (mg/kg)	420	420	12,29	8,68
Selênio (mg/kg)	36	100	<0,04	<0,04
Zinco (mg/kg)	2800	7500	628,29	389,14

De acordo com os resultados obtidos após a caracterização do lodo de esgoto e do biossólido produzido a partir do processo de estabilização alcalina, segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020 (CONAMA, 2020), ambos se enquadram como Classe 1, visto que as concentrações de substâncias químicas presentes, não excedem os valores estabelecidos na referida Resolução. Com relação ao parâmetro microbiológico monitorado, o lodo de esgoto sanitário apresentava 1,36 x 10^6 NMP/gST de *E. coli*. Após o processo de estabilização alcalina, o biossólido passou a apresentar 600 NMP/gST de *E. coli*, equivalente a uma redução de aproximadamente 99,95%. Sendo assim, o biossólido passa a ser classificado também como Classe A, pois a quantidade de *E. coli* encontrada é inferior ao limite máximo de 10^3 NMP/gST estabelecido na referida Resolução (CONAMA, 2020). A adição de cal ao lodo de esgoto promove um papel importante no que diz respeito à inativação de organismos patogênicos, à medida em que ocorre o aumento do pH, não permitindo a adaptação dos microrganismos, afetando o seu crescimento e, por consequência, aumentando a sua letalidade (Silva *et al*., 2023).

Com relação aos metais pesados presentes no lodo, foi possível identificar que, apesar de já se encontrarem em baixas concentrações, todos eles sofreram redução após o processo de estabilização alcalina. O aumento do pH do lodo, ocasionado pela adição de cal, provoca uma reação com os metais pesados, formando precipitação com o íon carbonato, além de que alguns metais pesados como o cobre, zinco, cádmio e níquel podem ser reduzidos através de adsorção (Silva *et al*., 2023).

Sendo assim, o biossólido produzido não excedeu os limites máximos de contaminantes permitidos na legislação brasileira indicando que a sua utilização em solos está livre de altas concentrações dessas substâncias, permitindo o seu uso na recuperação de áreas degradadas sem causar danos ao meio ambiente e à saúde pública.

Caracterização do rejeito de mineração de ferro e comparação com o biossólido

As análises químicas de fertilidade realizadas no rejeito de mineração de ferro estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 2 – Caracterização do rejeito de mineração de ferro

Parâmetros	Unidade	Rejeito de Mineração	Classificação (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999)
pH	UpH	8,72	Muito alto/ Alcalinidade elevada
Matéria Orgânica	dag/kg	0,04	Muito baixo
Fósforo (P)	mg/dm³	7,7	Muito baixo
Potássio (K)	mg/dm³	11,0	Muito baixo
Cálcio Trocável (Ca^{2+})	$cmol_c/dm^3$	0,62	Baixo
Magnésio Trocável (Mg^{2+})	$cmol_c/dm^3$	0	Muito baixo
Acidez Trocável (Al^{3+})	$cmol_c/dm^3$	0	Muito baixo
Acidez Potencial (H+Al)	$cmol_c/dm^3$	0	Muito baixo
Soma de Bases (SB)	$cmol_c/dm^3$	0,75	Baixo
Capacidade de troca catiônica efetiva (t)	$cmol_c/dm^3$	0,75	Muito baixo
Capacidade de troca catiônica total (T)	$cmol_c/dm^3$	0,75	Muito baixo
Saturação por bases (V)	%	100	Muito bom
Saturação por Al3+ (m)	%	0	Muito baixo
Fósforo Remanescente (P-rem)	mg/l	54,7	-
Cobre (Cu)	mg/dm³	0,13	Muito baixo
Manganês (Mn)	mg/dm³	8,0	Médio
Ferro (Fe)	mg/dm³	31,8	Bom
Zinco (Zn)	mg/dm³	0,06	Muito baixo

Tomando por base as "Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999), os resultados mostram que o pH do rejeito de mineração se apresentou como muito alto (>7,0) e de alcalinidade elevada (>7,8). O teor de matéria orgânica é considerado como muito baixo (<0,70 dag/kg), além de possuir carência de potássio (<15 mg/dm³).

As cargas disponíveis no complexo de troca são ocupadas por cátion básicos, visto que a saturação por bases foi de 100%.

O rejeito de mineração de ferro possui características limitantes para o processo de revegetação, principalmente, para plantas pioneiras, como é o caso da *Baccharis dracunculifolia*. Como exemplo, cabe destacar a baixa disponibilidade de nutrientes no rejeito, podendo comprometer o metabolismo e o desenvolvimento das plantas. Como é o caso do fósforo (<10,0), magnésio trocável (<0,15 $cmol_c/dm^3$), cobre (<0,3 mg/dm^3) e zinco (<0,4 mg/dm^3), considerados como muito baixo e o cálcio trocável (entre 0,41 e 1,20 $cmol_c/dm^3$) considerado como baixo. Existem duas exceções, como é o caso do manganês (entre 6 e 8 mg/dm^3) sendo classificado como médio e o ferro (entre 31 e 45 mg/dm^3) sendo classificado como bom. Essas duas exceções podem estar relacionadas à origem do rejeito, pois por se tratar de um rejeito proveniente de atividade minerária de extração de minério de ferro, espera-se que em sua composição fossem encontradas maiores concentrações desses dois elementos.

Em contrapartida, o biossólido, devido às suas elevadas concentrações de nutrientes (Tabela 3), surge como um promissor resíduo orgânico que, quando incorporado ao rejeito de mineração de ferro para que seja formado um tecnossolo, poderá fornecer às plantas uma grande quantidade de nutrientes necessários ao seu desenvolvimento, assim como encontrado por Firpo, Weiler e Schneider (2021) (Tabela 4).

Tabela 3 – Caracterização nutricional do biossólido

Parâmetros	Unidade	Biossólido
pH	UpH	7,99
Matéria Orgânica	%	28,05
Fósforo (P)	mg/kg	3.203
Potássio (K)	mg/kg	375,29
Cálcio (Ca)	mg/kg	8.256,6
Magnésio (Mg)	mg/kg	1.092
Cobre (Cu)	mg/kg	55,48
Manganês (Mn)	mg/kg	64,8
Ferro (Fe)	mg/kg	7.801,72
Zinco (Zn)	mg/kg	389,14

Além da qualidade nutricional presente no biossólido, o seu conteúdo de matéria orgânica, considerado como alto (>7%) segundo Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), exerce um papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, impactando diretamente no desenvolvimento e posterior rendimento das plantas.

Tabela 4 – Caracterização nutricional do tecnossolo

Parâmetros	**Unidade**	**Tecnossolo**	**Classificação** (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999)
pH	UpH	7,4	Muito Alto/Alcalinidade fraca
Matéria Orgânica	%	4,0	Médio
Fósforo (P)	mg/dm³	72,0	Muito Bom
Potássio (K)	mg/dm³	127,0	Muito Bom
Cálcio Trocável (Ca^{2+})	$cmol_c/dm^3$	33,0	Muito Bom
Magnésio Trocável (Mg^{2+})	$cmol_c/dm^3$	2,0	Muito Bom
Cobre (Cu)	mg/dm³	5,0	Alto
Manganês (Mn)	mg/dm³	40,0	Alto
Zinco (Zn)	mg/dm³	36,0	Alto

Fonte: adaptado de Firpo, Weiler e Schneider (2021)

É possível observar através da Tabela 4, que o pH do solo, apesar de muito alto, é considerado como de alcalinidade fraca, estando mais próximo da neutralidade, o que contribui para uma concentração equilibrada de nutrientes, que, de acordo com a classificação de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), estão disponíveis em grandes quantidades às plantas, demonstrando que o tecnossolo produzido é satisfatório para o crescimento de plantas em termos nutricionais.

Além do aumento do conteúdo nutricional do solo, a incorporação do biossólido ao rejeito de mineração possui diversos benefícios em termos de matéria orgânica, como o bom crescimento de plantas, além de melhorar a sua estrutura, aumentar a sua capacidade de retenção de água e melhorar a atividade microbiana do solo (Firpo; Weiler; Schneider, 2021; Soria *et al*., 2024).

Conclusão

Este estudo investigou o potencial do biossólido no auxílio a recuperação de áreas degradadas pela mineração. As análises do lodo de esgoto e do biossólido produzido demonstraram que o processo de estabilização alcalina se mostrou eficaz na redução de patógenos, especialmente a *Escherichia coli*, classificando o biossólido como Classe A segundo a legislação, e também na redução de metais pesados, tornando-o seguro para uso em solos. Em contrapartida, o rejeito de mineração apresentou características limitantes para o desenvolvimento vegetal, como a baixa fertilidade.

Deste modo, o biossólido destacou-se como uma alternativa promissora para ser incorporado ao rejeito. Sua alta concentração de nutrientes e matéria orgânica, superiores às do rejeito, são fundamentais para o crescimento das plantas. Quando incorporado ao rejeito, o biossólido possui um elevado potencial de melhorar a sua estrutura, a capacidade de retenção de água e a atividade microbiana, fato que pode ser elucidado em trabalhos futuros.

A sua incorporação ao rejeito, formando então um tecnossolo, de melhor estrutura, capacidade de retenção de água, maior atividade microbiana e alto teor de nutrientes, fornece os requisitos necessários ao desenvolvimento de plantas em ambientes degradados. Estudos anteriores corroboram esses benefícios, demonstrando o sucesso da aplicação de biossólidos na recuperação de solos degradados.

A utilização do biossólido em solos degradados, o torna uma solução sustentável para o manejo de resíduos e a restauração ecológica de áreas impactadas pela mineração. A combinação das suas propriedades benéficas com as carências do rejeito representa uma estratégia eficiente que pode ser posteriormente aplicada em grandes áreas degradadas, indo de encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em específico a meta 15.3 da Agenda 2030: “até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo”.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto Aliança Estratégica da COPASA, ao Laboratório APICRIM e ao Grupo de Pesquisas Reciclos CNPq, ao

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, à Universidade Federal de Ouro Preto, ao CNPq, à CAPES e FAPEMIG, pelo suporte financeiro, estrutural e fornecimento de dados essenciais para esta pesquisa. Por fim, agradecemos aos organizadores da 8ª edição do Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente.

Referências

ANDREOLI, C. V.; BICO, A. K.; BITTENCOURT, S.; PEGORINI, E. S.; POSSETTI, G. R. C.;

CERQUEIRA, P. L. W.; RIETOW, J. C.; AISSE, M. M. **Nota Técnica 4 – Higienização de lodo via estabilização alcalina**. In: COLETÂNEA DE NOTAS TÉCNICAS 2: Valoração e gerenciamento dos subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo de esgoto no solo. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 45-58, 2021.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 6, 2014. p. 444. ISBN 978-85-423-0085-7.

CARABASSA, V. *et al.* Mid-term effects on ecosystem services of quarry restoration with Technosols under Mediterranean conditions: 10-year impacts on soil organic carbon and vegetation development. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 4, p. 960-970, Julho. 2020. ISSN 1526-100X.

CONAMA. Resolução n. 498, de 19 de agosto de 2020. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, 2020.Disponivelem: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797. Acesso em: 11 Dezembro 2023.

CURI, A. **Lavra de Minas**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p. 462.

FIRPO, B. A.; WEILER, J.; SCHNEIDER, I. A. H. Technosol made from coal waste as a strategy to plant growth and environmental control. **Energy Geoscience**, v. 2, n. 2, p. 160-166, Abril. 2021. ISSN 2666-7592.

IBRAM. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. Brasília, p. 128. 2016.

JAMAL, A.; NORIEH, N.; FARZADKIA, M. Comparison of Aerobic and Lime Stabilization Methods for Evaluation of Sewage Sludge Reuse. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 182-190, 2011. ISSN 1994-7887.

KRIGUEL, K. Determinação da difusidade térmica e da curva de secagem de lodos e escumas sanitários. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 102. 2015.

OUÉDRAOGO, D. *et al.* Existing evidence on the potential of soils constructed from mineral wastes to support biodiversity: a systematic map. **Environmental Evidence**, v. 13, n. 9, p. 1-15, Abril. 2024. ISSN 2047-2382.

PASOŃ, Ł.; STAńCZYK-MAZANEK, E. Effect of sewage sludge liming on drug-resistant bacteria of the Enterobacteriaceae family. **Desalination and Water Treatment**, v. 301, p. 135-142, Julho. 2023. ISSN 1944-3986.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. 1ª. ed. Viçosa: SBCS, 1999.

RUIZ, F. *et al.* Constructing soils for climate-smart mining. **Commun Earth Environ**, v. 4, n. 219,

p. 1-6, Junho. 2023. ISSN 2662-4435.

SILVA, L. C. F. D. *et al.* Urban sewage sludge stabilization by alkalization-composting-vermicomposting process: Crop-livestock residue use. **PLOS ONE**, v. 18, n. 9, p. 1-15, Setembro. 2023. ISSN 1932-6203.

SORIA, R. *et al.* Monitoring of indicators and bacterial succession in organic-amended technosols for the restoration of semiarid ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 954, p. 1-15, Setembro. 2024. ISSN 0048-9697.

YUNHONG, C. *et al.* Test research on the effects of mechanochemically activated iron tailings on the compressive strength of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 118, p. 164-170, Agosto. 2016. ISSN 1879-0526.

A Eficácia das Políticas Públicas de Mitigação de Inundações à Luz do Direito Ambiental Brasileiro.

Fernanda Furquim Bitello[1], Gabriel Grabowski[2], Bianca Kaline Ribeiro da Silvai[3], Marcio Lüders[4]
[1]*Feevale /fernandabitello@yahoo.com.br*
[2] *Feevale /gabrielg@feevale.br*
[2] *Feevale /bianca.kaline@gmail.com*
[2] *Feevale /marcioluders@gmail.com*

Resumo: A intensificação dos eventos hidrológicos extremos tem tornado as inundações um dos desastres ambientais mais recorrentes no Brasil, resultando em impactos socioeconômicos. Este estudo analisa a eficácia das políticas públicas brasileiras de mitigação de inundações à luz do direito ambiental e urbanístico, considerando a implementação de instrumentos como os Planos Diretores, o Zoneamento Ecológico-Econômico e os Sistemas de Alerta de Inundações. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental de legislações, relatórios técnicos e artigos científicos publicados nos últimos 15 anos. Foram investigados estudos de caso nacionais, como as enchentes na Bacia do Rio Doce, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul em 2024, além de exemplos internacionais nos Países Baixos e no Japão, cujas estratégias inovadoras de gestão hídrica demonstram alta eficácia. A análise comparativa revela que, embora o Brasil possua um arcabouço normativo robusto, sua implementação enfrenta desafios relacionados à governança, integração intersetorial e monitoramento contínuo. A adoção de soluções baseadas na natureza, aliada ao fortalecimento da infraestrutura verde, emerge como alternativa promissora para aumentar a resiliência urbana. Conclui-se que é necessária uma maior articulação entre políticas ambientais, urbanísticas e de defesa civil para garantir a mitigação eficaz dos riscos de inundações no Brasil.

Palavras-chave: Gestão de riscos ambientais; Planejamento urbano sustentável; Infraestrutura verde; Resiliência hídrica.

The Effectiveness of Public Policies for Flood Mitigation in the Light of Brazilian Environmental Law.

Abstract: The intensification of extreme hydrological events has made floods one of the most recurrent environmental disasters in Brazil, resulting in socio-economic impacts. This study analyzes the effectiveness of Brazilian public policies for flood mitigation in light of environmental and urban

law, considering the implementation of instruments such as Master Plans, Ecological-Economic Zoning, and Flood Alert Systems. The research adopts a qualitative and exploratory approach, based on a literature review and documentary analysis of legislation, technical reports, and scientific articles published in the last 15 years. National case studies were investigated, including the floods in the Rio Doce Basin, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul in 2024, as well as international examples from the Netherlands and Japan, whose innovative water management strategies demonstrate high effectiveness. The comparative analysis reveals that, although Brazil has a robust regulatory framework, its implementation faces challenges related to governance, intersectoral integration, and continuous monitoring. The adoption of nature-based solutions, combined with the strengthening of green infrastructure, emerges as a promising alternative to enhance urban resilience. It is concluded that greater coordination between environmental, urban, and civil defense policies is necessary to ensure the effective mitigation of flood risks in Brazil.

Key words: Environmental risk management; Sustainable urban planning; Green infrastructure; Water resilience.

Introdução

As mudanças climáticas e a intensificação de eventos hidrológicos extremos vêm ampliando a vulnerabilidade das cidades brasileiras a inundações, demandando estratégias eficazes de mitigação e adaptação (IPCC, 2021). As inundações representam um dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, causando impactos em infraestrutura, habitações e vidas humanas, além de gerar prejuízos econômicos expressivos (ANA, 2022). Diante desse cenário, as políticas públicas voltadas para a mitigação desses eventos precisam ser analisadas à luz do direito ambiental e urbanístico, considerando sua implementação e efetividade.

A legislação brasileira dispõe de um arcabouço normativo voltado para a gestão de riscos de desastres, incluindo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012), que estabelece diretrizes para prevenção e mitigação de desastres naturais, e o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), que prevê a necessidade de planejamento urbano sustentável. Além disso, instrumentos como os Planos Diretores Municipais, o Zoneamento Ecológico-Econômico e os Sistemas de Alerta de Inundações são essenciais para reduzir os impactos desses eventos (Brasil, 2012). No entanto, a efetividade dessas políticas depende da sua adequada implementação e integração entre os diferentes níveis de governo e setores da sociedade (Marques & Lima, 2020). A literatura científica tem destacado a importância de soluções baseadas na natureza como estratégias complementares para mitigação de

inundações. Infraestruturas verdes, como a restauração de áreas alagadas, telhados verdes e parques lineares, têm se mostrado eficazes em diversas regiões do mundo, como nos Países Baixos e no Japão, que desenvolveram sistemas inovadores de gestão hídrica (KUNDZEWICZ *ET AL.*, 2018). No Brasil, iniciativas como o Programa de Recuperação de Matas Ciliares demonstram potencial para reduzir a vulnerabilidade das bacias hidrográficas e mitigar o impacto das cheias (MMA, 2019).

Nesse contexto, este estudo busca avaliar a eficácia das políticas públicas brasileiras de mitigação de inundações a partir de uma análise das legislações pertinentes, da implementação dos instrumentos de gestão territorial e da comparação com experiências internacionais bem-sucedidas.

Metodologia

O presente estudo adotou uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. A revisão de literatura foi conduzida com base em legislações, relatórios técnicos e artigos científicos publicados nos últimos 15 anos, garantindo a atualidade das informações. Os bancos de dados utilizados para a busca de referências foram o Scopus, Web of Science e ScienceDirect. As palavras-chave empregadas nas pesquisas incluíram "políticas públicas de mitigação de inundações", "direito ambiental e urbanístico", "gestão de riscos de desastres naturais", "infraestrutura verde e resiliência urbana" e "eventos climáticos extremos no Brasil". A seleção dos materiais considerou critérios como relevância temática, rigor metodológico e aplicabilidade ao contexto brasileiro.

Além da revisão bibliográfica, foram analisados documentos institucionais e normativos, como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012), o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), bem como relatórios emitidos por órgãos como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Defesa Civil. A metodologia de análise documental possibilitou a identificação de lacunas na implementação das políticas públicas e a avaliação da eficácia das estratégias de mitigação de inundações no Brasil.

Os estudos de caso foram selecionados com base na incidência de eventos extremos e na representatividade das medidas adotadas. No

contexto nacional, foram analisadas as enchentes de 2020 na Bacia do Rio Doce, os impactos das inundações recorrentes em Santa Catarina e o evento extremo ocorrido no Rio Grande do Sul em maio de 2024. No contexto internacional, foram avaliadas as políticas de mitigação de inundações adotadas nos Países Baixos, onde o sistema de diques e infraestrutura resiliente demonstrou alta eficácia, e no Japão, que implementa soluções tecnológicas avançadas e planos de evacuação estruturados para minimizar os danos causados por enchentes e tsunamis.

Resultados e Discussões

A gestão de riscos de inundações no Brasil está intrinsecamente ligada à legislação ambiental e urbanística, sendo uma responsabilidade compartilhada entre os entes federativos (VERSTEGEN, J. 2023). A Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu artigo 225, que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao Estado o dever de preservá-lo para as presentes e futuras gerações. No entanto, a concretização desse direito depende da implementação eficaz de políticas ambientais que considerem os riscos naturais, como as inundações (CALDAS, A *et al.*2018; ALVES, P *et al.* 2020; BARBOSA, L *et al.* 2021). A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) também desempenham papeis importantes ao estabelecer diretrizes para o planejamento e uso dos recursos hídricos, mas sua aplicação tem sido limitada diante do crescimento urbano desordenado e das mudanças climáticas (FEARNSIDE, P.2016; DA SILVA *et al.* 2023).

No âmbito municipal, os Planos Diretores, regulamentados pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), deveriam contemplar diretrizes para prevenção de desastres, promovendo um zoneamento adequado às condições ambientais e aos riscos de inundação. Contudo, verifica-se que muitos municípios negligenciam essa prerrogativa ou não possuem capacidade técnica para sua efetiva implementação (NAKAYAMA, K. et al 2021;). Além disso, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012) define diretrizes para prevenção e resposta a desastres naturais, mas enfrenta dificuldades operacionais na sua execução. A ausência de integração entre essas políticas resulta em um modelo fragmentado, comprometendo a eficácia das ações preventivas (HOWES, M. 2015).

A implementação das políticas públicas voltadas à mitigação de inundações enfrenta desafios estruturais, financeiros e administrativos (DIEPERINK, C. 2016; BECKER, P.2021; MAULANA, P.2024). O Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Riscos e Desastres (SINGRID), criado para monitorar e prevenir riscos, apresenta limitações na cobertura e atualização dos dados (Al., D.2023). Os Sistemas de Alerta de Inundações, quando existentes, possuem alcance restrito e nem sempre chegam às comunidades mais vulneráveis. A falta de investimentos adequados e a descontinuidade de programas de prevenção resultam na perpetuação do ciclo de desastres, onde os recursos são majoritariamente empregados na resposta emergencial, em detrimento da prevenção e mitigação dos riscos (SETIADI, S.2023; MAULANA, P.2024).

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um instrumento de planejamento territorial que visa compatibilizar o uso sustentável dos recursos naturais com o desenvolvimento socioeconômico. Regulamentado pelo Decreto nº 4.297/2002, o ZEE orienta a ocupação do solo e estabelece diretrizes para a conservação ambiental, prevenindo impactos adversos como o aumento do risco de inundações (BRASIL, 2002). Os fundos de resiliência climática, conforme destacam Tanner *et al.* (2015), são especialmente eficazes para apoiar municípios vulneráveis na implementação de soluções baseadas na natureza e infraestrutura verde, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução da exposição a riscos climáticos.

Estudos indicam que a falta de planejamento territorial adequado está entre os principais fatores que contribuem para a ocorrência de inundações em áreas densamente povoadas (MARQUES & LIMA, 2020). O ZEE, quando bem implementado, pode atuar como uma ferramenta de mitigação, restringindo a ocupação de áreas suscetíveis a alagamentos e promovendo o uso de infraestruturas verdes para absorção e drenagem das águas pluviais (MMA, 2019). Em algumas regiões do Brasil, como no estado do Acre, a aplicação do ZEE tem sido fundamental para orientar o desenvolvimento sustentável, reduzindo os impactos ambientais decorrentes da expansão urbana desordenada (SOUZA *ET AL.*, 2018). A experiência internacional também reforça a relevância do zoneamento para a mitigação de inundações. Nos Países Baixos, políticas rigorosas de ordenamento territorial, aliadas a um sistema eficiente de diques e reservatórios, garantem a segurança de

áreas propensas a enchentes (Kundzewicz *et al.*, 2018). No Japão, o zoneamento é integrado a estratégias de gestão hídrica, como bacias de detenção e corredores ecológicos, que permitem a dissipação controlada das águas pluviais (Takeuchi, 2019). Esses exemplos demonstram que a aplicação efetiva do ZEE pode contribuir significativamente para a resiliência urbana e a redução dos impactos das inundações no Brasil. No entanto, desafios como a falta de fiscalização, sobreposição de competências institucionais e resistência política à implementação do zoneamento ainda limitam sua eficácia em âmbito nacional.

Estudos de caso demonstram a disparidade na eficiência das medidas de mitigação de inundações no Brasil. Em Santa Catarina, após eventos extremos recorrentes, foram implementadas medidas estruturais como diques, barragens de contenção e ampliação dos Siste mas de Alerta, resultando em redução dos danos humanos e materiais (GONCALVES, M. 2018; SCHEIBE, L et al 2020; BRIDGES, A.2024). Por outro lado, na Bacia do Rio Doce, que abrange os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, a ineficiência das ações preventivas ficou evidente nas enchentes de 2020, quando houve colapsos de infraestruturas e grande impacto social (ALVES, P. 2020; RIBEIRO, A. 2023). O diferencial entre esses casos reside na implementação de medidas integradas e na adoção de práticas participativas no planejamento e execução das políticas públicas (REZENDE, O. 2019).

A interação entre direito ambiental, urbanístico e de defesa civil é essencial para a construção de cidades resilientes (NAKAYAMA, K., & MACHADO, M. 2021). O direito ambiental pode estabelecer parâmetros rigorosos para a ocupação do solo em áreas de risco, enquanto o direito urbanístico pode direcionar investimentos para soluções baseadas na infraestrutura verde, como parques lineares e sistemas de drenagem urbana sustentáveis (MARQUES, A., & ALVIM, A..2021). A defesa civil, por sua vez, deve atuar de maneira preventiva, promovendo treinamentos comunitários e a implantação de protocolos eficientes para resposta a emergências (BARCELLOS, R.2024). Contudo, observa-se que essas esferas de atuação ainda operam de maneira isolada no Brasil resultando na fragmentação das políticas e na ineficiência das respostas aos eventos extremos (KUHN, C.2022; SILVA, J., & SAMORA, P.2023).

Os desafios para a eficácia das políticas públicas de mitigação de inundações no Brasil exigem um aprimoramento da governança am-

biental. A descentralização administrativa, embora fundamental para a gestão municipal dos riscos, nem sempre é acompanhada de capacitação técnica e financiamento adequado. A adoção de soluções baseadas na natureza tem se mostrado uma abordagem eficaz para mitigar os impactos das inundações (FREITAS, C. et al 2019). No Brasil, projetos como o Parque Linear do Tietê, em São Paulo, combinam áreas de preservação com infraestrutura de drenagem natural, reduzindo os riscos de enchentes. Em Curitiba, a implantação de jardins de chuva e áreas de infiltração verde tem demonstrado eficiência na absorção de águas pluviais. No exterior, a Holanda implementou o programa "Room for the River", que consiste na criação de espaços para a expansão controlada dos rios, evitando enchentes urbanas. No Japão, a cidade de Tóquio investiu no sistema de reservatórios subterrâneos, conhecidos como "G-Cans", que armazenam grandes volumes de água durante chuvas intensas, evitando inundações. A combinação dessas estratégias no contexto brasileiro pode ser um caminho promissor para a redução dos danos causados por eventos extremos. A experiência de países como Holanda e Japão demonstra que a gestão de áreas inundáveis deve estar integrada ao ordenamento territorial, combinando soluções de engenharia com abordagens baseadas na natureza.

A implementação de soluções baseadas na natureza, como a recuperação de áreas alagáveis, a ampliação da cobertura vegetal em bacias hidrográficas e a criação de corredores ecológicos, tem se mostrado uma estratégia eficiente para a mitigação de inundações. Além disso, a educação ambiental e a participação comunitária são fundamentais para a conscientização e mobilização da sociedade na prevenção de desastres (ZANETTI, V., S., W., & FREITAS, D. 2016; DEBORTOLI, N *ET AL.*2017; MENEZES, J *et al.* 2018). O fortalecimento das políticas públicas deve incluir a adoção de tecnologias inovadoras, integração de dados meteorológicos e hidrológicos em tempo real e a participação ativa das comunidades na gestão do risco de inundações. Dessa forma, a revisão e a efetivação das normativas ambientais brasileiras são passos essenciais para a redução da vulnerabilidade socioambiental e o aumento da resiliência das cidades frente às inundações (BARBOSA, L *et al.* 2021). Portanto, uma abordagem integrada, que combine infraestrutura, planejamento territorial e engajamento social, é importante para a promoção de cidades mais seguras e sustentáveis.

Os eventos ocorridos no Rio Grande do Sul em maio de 2024 exemplificam a vulnerabilidade das cidades brasileiras frente a desastres climáticos intensificados pelas mudanças climáticas. Segundo a Defesa Civil, as chuvas extremas provocaram inundações severas em diversas regiões do estado, resultando no deslocamento de milhares de pessoas, destruição de infraestruturas essenciais e impactos socioeconômicos Municípios como Porto Alegre, Canoas e São Leopoldo foram gravemente afetados, com enchentes atingindo áreas urbanas densamente povoadas (DEFESA CIVIL, 2024). A tragédia evidenciou falhas na prevenção e resposta a desastres, ressaltando a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura resiliente, sistemas de drenagem eficientes e fortalecimento dos sistemas de alerta precoce. A resposta governamental, embora emergencialmente necessária, demonstrou lacunas na capacidade de articulação entre os diferentes níveis de gestão. A distribuição de recursos e a realocação das populações afetadas ocorreram de maneira fragmentada, expondo a carência de planos eficazes de contingência (COSTA, F. A. 2019). Ademais, a ocupação irregular de áreas de risco e a degradação ambiental agravaram os impactos das enchentes, tornando evidente a necessidade de reforçar a fiscalização ambiental e a implementação de políticas de ordenamento territorial (ALLASIA, D. 2015). O caso do Rio Grande do Sul deve servir como um alerta para outras regiões propensas a inundações, reforçando a importância da adoção de medidas preventivas e da integração entre os diferentes setores da administração pública.

A experiência internacional e os estudos de caso nacionais demonstram que soluções integradas, combinando tecnologia, planejamento e preservação ambiental, são fundamentais para garantir cidades mais preparadas para enfrentar eventos extremos. Países como a Alemanha e a Coreia do Sul adotam estratégias híbridas, combinando infraestruturas cinza e verde, além de planos rigorosos de gestão de riscos, resultando em maior resiliência urbana. No Brasil, a efetividade dessas medidas depende do fortalecimento da governança, da alocação de recursos e da conscientização social para a construção de cidades mais sustentáveis e adaptadas às novas realidades climáticas (SILVA, A. M et al 2020).

Considerações finais

A análise das políticas públicas voltadas à mitigação de inundações no Brasil evidencia um descompasso entre a robustez do arcabouço

normativo existente e sua aplicação prática nos territórios. Embora haja legislações e programas direcionados à gestão de riscos e desastres, persistem entraves estruturais à sua efetividade, tais como a fragmentação entre as esferas de governo, a limitação de recursos financeiros e técnicos, além da descontinuidade institucional. As enchentes que afetaram o estado do Rio Grande do Sul em 2024 escancararam a insuficiência das medidas preventivas vigentes e a limitada capacidade de resposta diante de eventos hidrológicos extremos.

Experiências nacionais e internacionais demonstram que soluções baseadas na natureza, integradas a infraestruturas resilientes e sistemas de alerta precoce, podem mitigar os impactos das inundações. No entanto, essas medidas têm sido implementadas de forma pontual, frequentemente dissociadas das realidades socioambientais locais. A adoção de estratégias generalistas e descontextualizadas perpetua a ineficácia das políticas públicas, reforçando as vulnerabilidades e desigualdades territoriais já consolidadas.

Diante da extensão territorial e da diversidade geográfica do Brasil, com 26 estados, o Distrito Federal e mais de 5.500 municípios, torna-se evidente a necessidade de uma governança cooperativa entre os entes federativos. A efetividade das políticas públicas em contextos de risco depende da articulação institucional que promova, simultaneamente, cooperação, coordenação e autonomia entre União, estados e municípios. Essa articulação deve permitir que os municípios, em sintonia com os demais entes, encaminhem suas demandas e atuem em situações emergenciais com respaldo técnico, normativo e institucional. A superação da lógica de atribuições fragmentadas é fundamental para consolidar ações integradas e eficazes. O fortalecimento das interfaces entre o direito ambiental, o ordenamento territorial e a defesa civil são essenciais. A revisão e atualização das normas existentes, aliada à capacitação contínua das equipes técnicas e à estruturação de fontes de financiamento estáveis, constitui um caminho necessário para a construção de cidades mais resilientes e aptas a enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Referências

AL., D. Implementation of flood disaster mitigation policy in Gorontalo Regency (case study in Tibawa and Limboto districts). Russian Law Journal, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.52783/rlj.v11i2s.648.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Relatório de gestão de riscos hídricos. Brasília.

ALLASIA, D.; TASSI, R.; BEMFICA, D.; GOLDENFUM, J. Decreasing flood risk perception in Porto Alegre – Brazil and its influence on water resource management decisions. , 370, 189-192, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5194/PIAHS-370-189-2015.

ALVES, P.; RUFINO, I.; FEITOSA, P.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A. Land-Use and Legislation-Based Methodology for the Implementation of Sustainable Drainage Systems in the Semi-Arid Region of Brazil. Sustainability, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su12020661.

BARCELLOS, R. A defesa civil no contexto brasileiro. Revista ft, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.69849/revistaft/ar10202408271911.

BARBOSA, L.; ALVES, M.; GRELLE, C. Actions against sustainability: Dismantling of the environmental policies in Brazil. Land Use Policy, 104, 105384, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105384.

BECKER, P. Tightly coupled policies and loosely coupled networks in the governing of flood risk mitigation in municipal administrations. Ecology and Society, 26, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5751/ES-12441-260234.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF, 1988.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Brasília, 2001.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília, 2012.

BRIDGES, A. Evaluating Sustainability in Social-ecological Systems: 50 Years of Conservation in Florianópolis, Brazil. Conservation and Society, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.4103/cs.cs_70_23.

CALDAS, A.; PISSARRA, T.; COSTA, R.; NETO, F.; ZANATA, M.; PARAHYBA, R.; FERNANDES, L.; PACHECO, F. Flood Vulnerability, Environmental Land Use Conflicts, and Conservation of Soil and Water: A Study in the Batatais SP Municipality, Brazil. Water, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/W10101357.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Relatório anual de monitoramento de desastres. Brasília, 2023.

COSTA, F. A.; PEREIRA, L. M.; SOUZA, R. M. Infraestrutura verde e planejamento urbano sustentável. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 10, n. 2, p. 120-135, 2019.

DA SILVA, G.; CAMPOS, P.; REIS, M.; PAZ, I. Spatiotemporal Land Use and Land Cover Changes and Associated Runoff Impact in Itaperuna, Brazil. Sustainability, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16010325.

DEBORTOLI, N.; CAMARINHA, P.; MARENGO, J.; RODRIGUES, R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. Natural Hazards, 86, 557-582, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11069-016-2705-2.

DIEPERINK, C.; HEGGER, D.; BAKKER, M.; KUNDZEWICZ, Z.; GREEN, C.; DRIESSEN, P. Recurrent Governance Challenges in the Implementation and Alignment of Flood Risk Management Strategies: a Review. Water Resources Management, 30, 4467-4481, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11269-016-1491-7.

FREITAS, C.; D'AVIGNON, A.; CASTRO, A. Urban social vulnerability and climate change in Rio de Janeiro city associated with population mobility. Journal of Environmental Policy & Planning, 21, 797 – 810, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1674135.

GONCALVES, M.; ZISCHG, J.; RAU, S.; SITZMANN, M.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. Modeling the Effects of Introducing Low Impact Development in a Tropical City: A Case Study from Joinville, Brazil. Sustainability, 10, 728, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/SU10030728.

HOWES, M., TANGNEY, P., REIS, K., GRANT-SMITH, D., HEAZLE, M., BOSOMWORTH, K., & BURTON, P. (2015). Towards networked governance: improving interagency communication and collaboration for disaster risk management and climate change adaptation in Australia. Journal of Environmental Planning and Management, 58, 757 – 776. https://doi.org/10.1080/09640568.2014.891974.

JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY. Flood mitigation strategies in Tokyo. Tokyo, 2021.

KUHN, C.; REIS, F.; OLIVEIRA, V.; CABRAL, V.; GABELINI, B.; VELOSO, V. Evolution of public policies on natural disasters in Brazil and worldwide. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 94 suppl 4, e20210869, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001 – 3765202220210869.

KUHN, C.; REIS, F.; OLIVEIRA, V.; CABRAL, V.; GABELINI, B.; VELOSO, V. Evolution of public policies on natural disasters in Brazil and worldwide. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 94 suppl 4, e20210869, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210869.

NAKAYAMA, K., & MACHADO, M. (2021). Appropriation of Disaster Risk Reduction in Brazil: Relations Between Civil Defense and Urban Planning as a Social Process Leading to Sustainability. WORLD SUSTAINABILITY SERIES. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59975-1_1.

MAULANA, P., KOESTOER, R., & KARUNIASA, M. (2024). Public policies on sustainable flood risk management: Study cases of the Netherlands and Malawi. ASEAN Natural Disaster Mitigation and Education Journal. https://doi.org/10.61511/andmej.v2i1.2024.953.

MARQUES, A., & ALVIM, A. (2021). Construction of Sustainable Territories and the Multiple Dimensions of Sustainability: An Assessment of Urban and Environmental Instruments in the Juqueri-Cantareira Sub-basin of the São Paulo Metropolitan Region. , 3. https://doi.org/10.3389/frsc.2021.670985.

MENEZES, J., CONFALONIERI, U., MADUREIRA, A., DE BRITO DUVAL, I., SANTOS,

R., & MARGONARI, C. (2018). Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. PLoS ONE, 13. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190808.

RIBEIRO, A. (2023). Bringing to light a new energy path: the case of the state of Minas Gerais, Brazil. Sustainability in Debate. https://doi.org/10.18472/sustdeb.v14n2.2023.49635.

Avaliação de impactos ambientais causados pela pressão urbana por meio de processamento de imagem

Ana Cláudia Ueda[1], Andrea Sartori Jabur[2], Yuri Figueredo de Albuquerque Fernandes Sertório de Souza[3]; Fábio Kurt Schneider[4]
[1,2]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Apucarana (anaueda@professores.utfpr.edu.br)* **1**, *(jabur@utfpr.edu.br)* **2**
[3,4]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Curitiba (yurifigueredo@alunos.utfpr.edu.br)* **3**, *(fabioks@professores.utfpr.edu.br)***4**

Resumo: O presente estudo visa aplicar ferramentas de processamento de imagens para avaliação de impactos ambientais causados pela urbanização. A área de estudo utilizada neste trabalho foi a região urbana do município de Apucarana – PR. O município tem cerca de 130 mil habitantes e 81 anos de emancipação, o que o torna ainda uma região de desenvolvimento. Desta forma, nos últimos 20 anos foi possível observar grandes investimentos imobiliários e expansão urbana no município. Assim, foram escolhidas 4 áreas prioritariamente residenciais em diferentes regiões do município para realizar o levantamento de imagens e a comparação das mesmas, gerando gráficos com destaques coloridos enfatizando a diferença de uso e cobertura do solo. O período utilizado foi de 2004 a 2024, sujeito à disponibilidade de imagens no período. As imagens foram comparadas duas a duas e depois foi produzido um gráfico de todo o período para verificar a mudança. Nas áreas de estudo 1 e 3 foram observadas as maiores expansões urbanas no período, devido a loteamentos novos e desenvolvimento de bairros um pouco mais afastados do centro da cidade. Já nas áreas de estudo 2 e 4 a expansão urbana não foi tão pronunciada, porém já são regiões mais estabelecidas dentro do desenvolvimento urbano, mas que ainda possuem potencial para expansão, principalmente com novos loteamentos, que devem ser continuamente monitorados.

Palavras-chave: Expansão urbana. Processamento de imagens. Monitoramento ambiental.

Assessment of environmental impacts caused by urban pressure using image processing

Abstract: The present study aims to apply image processing tools to assess environmental impacts caused by urbanization. The study region used in this work was the urban region of the municipality of Apucarana – PR. The municipality has around 130 thousand inhabitants and has been emancipated for 81 years, which makes it still a region of development. In the last 20 years it has been possible to observe large real estate investments and urban expansion in

the municipality. Thus, 4 primarily residential areas were chosen in different regions of the municipality to survey images and compare them, generating land use and coverage highlighted images and also negative impacts over water bodies and conservation areas. The period used was from 2004 to 2024, subjected to the availability of images in the period. The images were compared two by two and then a graph of the entire period was produced to verify the difference. In study areas 1 and 3, the largest urban expansions were observed in the period, due to new subdivisions and the development of neighborhoods a little further away from the city center. In study areas 2 and 4, urban expansion was not as pronounced, but they are already more established regions within urban development, but still have potential for expansion, mainly with new subdivisions, which must be continuously monitored.

Keywords: Urban expansion. Image processing. Environmental monitoring.

Introdução

O planejamento urbano e o cumprimento dos requisitos legais de manutenção da qualidade ambiental e preservação dos recursos naturais são requisitos essenciais na gestão das cidades. Com a intensa urbanização das últimas décadas, alterações importantes envolvendo o uso e cobertura do solo têm grande influência nas cidades, intensificando efeitos como as ilhas de calor, enchentes urbanas, pressão sobre corpos hídricos e florestas urbanas, entre outros (CAMACHO & MOSCHINI, 2021; AMARAL *et al.,* 2021; SILVEIRA, 2023; BARBOSA & CAVALCANTE, 2024). O processamento de imagens constitui um ganho tecnológico importante, uma vez que imagens de satélite de alta resolução estão disponíveis permitindo a avaliação em grandes áreas e também áreas de difícil acesso (ARAUJO & MELLO, 2010). Du et al, (2014) apresentaram a aplicação de imagens para análise do ambiente urbano referente a cobertura do solo, ecologia da paisagem urbana, monitoramento da vegetação e da água, avaliação da segurança ecológica urbana e mapeamento ambiental urbano. Conforme Moura *et al.* (2023), é possível também realizar um monitoramento ambiental de recursos hídricos, áreas de desmatamento, poluição de solos, deposição de resíduos sólidos urbanos e áreas de impermeabilização. O principal objetivo deste trabalho é utilizar ferramentas de processamento de imagem para avaliar a expansão urbana levando em consideração a alteração de uso e cobertura do solo e discutir a possibilidade desta ferramenta para análise da qualidade ambiental (e.g., impactos sobre locais de preservação, corpos hídricos e áreas de vegetação nativa) em áreas urbanas.

Metodologia

A área de estudo inicial é o município de Apucarana – PR, contendo cerca de 130 mil habitantes e 556.990 km^2 de área (BRASIL, 2024a e 2024b). Foram escolhidas áreas dentro dos limites urbanos do município, principalmente aquelas que sofreram uma urbanização mais intensa nas últimas duas décadas. A área de estudo 1 compreende bairros residenciais mais recentes no desenvolvimento urbano do município, como o Residencial Interlagos, Jardim Menegazzo e o Loteamento Residencial Cazarin, abrangendo a região sul do Lago Jaboti. A área de estudo 2 é uma região mais próxima à região central do município, sendo prioritariamente residencial, abrangendo o Loteamento Jardim Por do Sol, Jardim Vale do Sol, Jardim Figueira e Parque Bela Vista. A área de estudo 3 é um recorte na região dos Bairros Residencial Araucária, Núcleo Habitacional Dom Romeu Alberti, Loteamento Sanches dos Santos e Residencial Mega Park, abrangendo os córregos Ouro Fino, Tarumã e Japira, que abastecem as barragens Tarumã e Schmidt. Outro recorte abrange os Bairros Jardim Santos Dumont I e II e o Núcleo Habitacional Colonial (área de estudo 4). As áreas estão assinaladas na Figura 1.

Foram utilizadas imagens de satélite obtidas no *software* Google Earth Pro (2025). Adicionalmente, para o processamento de imagens pode ser utilizada linguagem Python com biblioteca de visão Computacional OpenCV ou o *software* Matlab® versão 2024 com a *toolbox* para processamento de imagens. Neste artigo foram utilizadas principalmente técnicas de (1)registro de imagens (i.e., transformação geométrica usada para alinhar imagens capturadas em instantes, posições e resoluções espaciais eventualmente diferentes como é o caso de uso de imagens de base de dados públicas para anos distintos), compensação automatizada de componentes de cores (para viabilizar comparações para níveis de iluminação distintos) e filtros espaciais de entropia para analisar a evolução da urbanização cuja ocupação com componentes diferentes (exemplo: árvores/pasto versus residências) geram informações de entropia diferenciadas. Regiões com maiores variações de entropia (e.g., que diferenciavam em mais de um desvio padrão na variação de entropia média da imagem) foram marcadas nas imagens com regiões semi-transparente avermelhadas utilizando função de blending.

Figura 1 – Imagem de satélite da área urbana do município de Apucarana – PR do ano de 2025 usando a base de dados Google Earth Pro com a delimitação das áreas de estudo (Área de Estudo 1 – amarela; Área de Estudo 2 – laranja; Área de Estudo 3 – verde; Área de estudo 4 – azul).



Fonte: Autores (2025)

Resultados e Discussões

A área de estudo 1 abrange bairros residenciais da região do sul do Lago Jaboti, localizado no centro da cidade. Estes bairros são mais recentes no desenvolvimento urbano do município, compreendendo o Residencial Interlagos, Jardim Menegazzo e o Loteamento Residencial Cazarin. A urbanização desta região do município é de particular interesse por exercer uma pressão sobre o Ribeirão Barra Nova, efluente do Lago Jaboti e afluente do Ribeirão Cambira, que faz parte da bacia do Rio Tibagi. A Figura 2 mostra o avanço da urbanização nesta região desde 2007, destacado pela cor vermelha, que indica regiões com alterações de cobertura de solo para anos distintos por meio da análise de entropia. Tipicamente, tais alterações são decorrentes da substituição da cobertura vegetal por áreas impermeabilizadas.

Percebe-se um aumento considerável de residências instaladas à esquerda (Residencial Interlagos) e também à direita, na região do Loteamento Cazarin. A intensa urbanização nesta região deve ser observada com cuidado, pois, além das residências, vários tipos de comércio

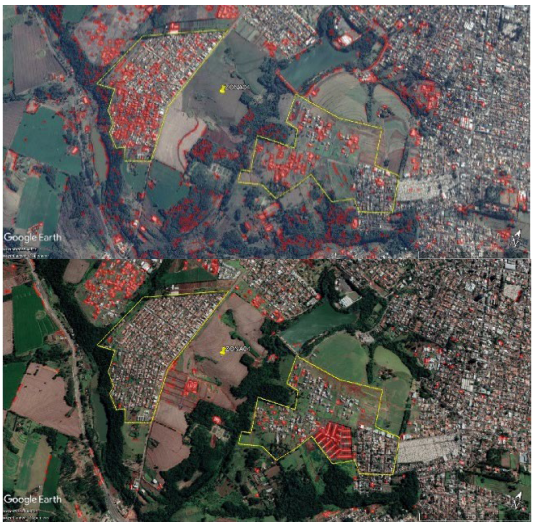
e de serviços começam a se instalar nesta região para atender aos bairros. Além disso, este corpo hídrico já possui um empreendimento importante, que é a estação de tratamento de esgoto. Ainda não se observa grande impacto sobre a mata ciliar, levando em consideração que, neste trecho, o Ribeirão Barra Nova tem suas margens adequadamente bem preservadas. Porém, com o passar dos anos, as construções estão se aproximando cada vez mais das áreas de inundação do ribeirão.

Figura 2 – Avanço da urbanização com a comparação das imagens no período de 2007 a 2024 da Área de Estudo 1. Regiões destacadas em vermelho são aquelas que sofreram maior variação de cobertura de solo para um período temporal.

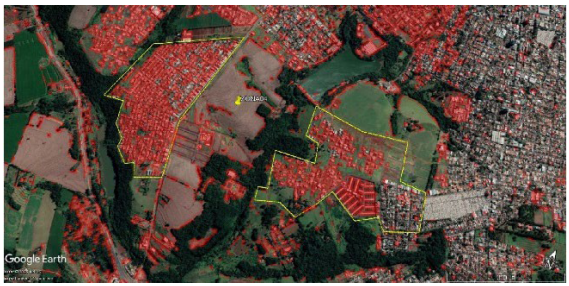
2007 2007-2010



2010-2016 2016-2021



2007-2021



Fonte: Autores (2025)

A área de estudo 2 é uma região mais próxima à região central do município, sendo prioritariamente residencial, abrangendo o Loteamento Jardim Por do Sol, Jardim Vale do Sol, Jardim Figueira e Parque Bela Vista. Esta região também é de grande interesse para o município, pois compreende a área de preservação do trecho superior do Rio Pirapó. Este rio tem sua nascente no centro da cidade, porém atualmente encontra-se aterrada por cerca de 600m. Próximo ao local de ressurgimento do rio também se encontra um frigorífico, que atualmente está desativado. Pode-se observar ainda um loteamento bem recente nesta região, que vai margeando o Rio Pirapó. A Figura 3 mostra a diferença de urbanização no período de 2004 até 2024.

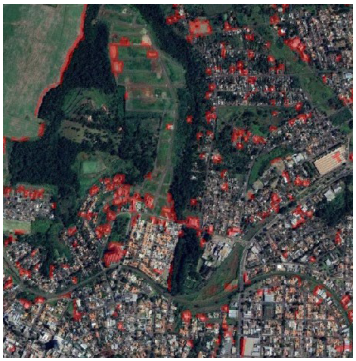
Neste período não foram observadas mudanças significativas na urbanização, principalmente na área de influência direta do Rio Pirapó, pois a região compreende bairros já mais estabelecidos no município. Porém, esta área deve ser monitorada para avaliar a influência do novo loteamento sobre o corpo hídrico, uma vez que este é utilizado como manancial de abastecimento na região.

A área de estudo 3 compreende a região dos Bairros Residencial Araucária, Núcleo Habitacional Dom Romeu Alberti, Loteamento Sanches dos Santos e Residencial Mega Park. Esta área está localizada na região norte do município de Apucarana e corresponde a uma urbanização mais recente (últimos 20 anos). A Figura 4 mostra imagem com regiões enfatizando diferenças de urbanização da área de estudo 3 no período de 2005 a 2024.

Figura 3 – Imagens de satélite mostrando o avanço da urbanização com a comparação das imagens no período de 2004 a 2024 da Área de Estudo 2. Destaque em vermelho para áreas com maior variação de cobertura de solo.



2004 | 2024



2004-2024
Fonte: Autores (2025)

Figura 4 – Imagens de satélite mostrando a diferença da urbanização da Área de Estudo 3 entre os anos 2005 e 2024. Destaque em vermelho para áreas com maior variação de cobertura de solo.

2005 | 2017-2024



Diferença no período 2005-2024.



Fonte: Autores (2025)

Na Figura 4 pode-se observar que em 2005 existiam somente os bairros Núcleo Habitacional Dom Romeu Alberti e Loteamento Sanches dos Santos. Em 2024 é possível observar a formação dos bairros Residencial Mega Park (à direita) e Residencial Araucária (à esquerda). Esta região é de particular interesse, pois compreende uma área próxima ao Córrego Ouro Fino e o Córrego Tarumã, ambos afluentes do Ribeirão Raposa (Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi). O aumento da impermeabilização na região diminui a infiltração no solo e aumenta o volume de água que chega às barragens do Schmidt e da Raposa. A barragem do Schmidt apresenta alto processo erosivo no local (barragem de terra) e está classificada como sendo de alto risco, pelo relatório do IAT (Instituto de Água e Terra do Estado do Paraná) (PARANÁ, 2024).

A área de estudo 4 compreende outro braço do Ribeirão Raposa, o córrego Japira e o talvegue principal do Ribeirão Raposa. Nesta área também está presente uma barragem de pequeno porte, também construída de terra compacta, a Barragem Tancredo Neves.

A barragem Tancredo Neves é monitorada pelo IAT e foi classificada como de alto risco, assim como a barragem do Schmidt. Porém,

o alerta nesta área de estudo é que a barragem Tancredo Neves está à montante a barragem do Schmidt. Logo, com o aumento da urbanização e, consequentemente, da impermeabilização de solo e redução de infiltração, o volume de água irá escoar para a barragem Tancredo Neves. Caso ocorra o rompimento desta barragem, todo o volume de água irá escoar para a Barragem do Schmidt e esta, por consequência, escoará todo o volume de água para a última barragem, a do Parque da Raposa. Este modelo é denominado de rompimento de barragem em cascata, devido ao relevo e o modo como foram construídas com o passar dos anos.

A Figura 5 mostra o resultado da análise de variação de ocupação do solo a partir da diferença de urbanização da área de estudo 4 no período de 2005 a 2024.

Figura 5 – Imagens de satélite mostrando a diferença da urbanização da Área de Estudo 4 entre os anos 2005 e 2024. Destaque em vermelho para áreas com maior variação de cobertura de solo.

2005 | 2024



Diferença no período



Fonte: Autores (2025)

Observa-se que esta área de estudo não apresentou crescimento da taxa de impermeabilização, pois os bairros, como Jardim Paraíso, já apresentavam o espaço urbano desenvolvido. Porém, os bairros não apresentam planejamento e a barragem foi construída para facilitar o tráfego de veículos entre os bairros. Esta região tem apresentado processo de verticalização, pois a região apresenta uma instituição universitária, que contribui com o desenvolvimento local.

Conclusões

Da análise apresentada, pode-se inferir que tal procedimento simples a partir de imagens de domínio público pode ser replicado para áreas de outros municípios para acompanhar a evolução de ocupação do solo. De forma geral, pode-se observar que ocorre um descumprimento da legislação vigente no que diz respeito às áreas de preservação de mata ciliar, áreas de conservação ambiental, áreas naturais de inundação. A partir da avaliação realizada por imagens é possível encontrar causas e prever episódios críticos de poluição e outros incidentes, como enchentes urbanas, desmoronamentos, poluição de águas, entre outros.

Este é um estudo inicial da região e auxiliará no levantamento do estudo do escoamento superficial com diferentes tempos de retorno e na avaliação da instalação de técnicas compensatórias de drenagem pluvial urbana, como telhado verde ou jardins de chuva, de modo a contribuir com a redução do escoamento superficial no local, considerando a importância do investimento por meio do IPTU verde.

Além disso, é de extrema importância realizar o levantamento de novos empreendimentos imobiliários e regiões de alteração de uso e cobertura do solo para realizar o acompanhamento e o monitoramento para verificação da manutenção da qualidade ambiental e preservação dos recursos naturais, evitando ainda episódios como os de enchentes urbanas.

O estudo também apresentou o potencial de uso de técnicas computacionais no auxílio do planejamento urbano e para o controle do espaço urbano em relação à barragem do Schmidt. A barragem em questão apresenta uma série de problemas, como: ausência de parte do escoamento natural (canal extravasor), orifício de fundo, e ausência também de um vertedouro para controle de nível d'água. Atualmente, a barragem está classificada com alto risco pelo relatório do Instituto Água e Terra (PARANÁ, 2024).

Ainda, o processamento das imagens e a escolha das mesmas podem ser melhorados, criando novos filtros e também aperfeiçoando as texturas para realizar melhor a diferenciação do uso e cobertura do solo.

Referências

AMARAL, R. D. A. M.; MORATO, R. G.; MARIANO, R. S.; FERREIRA, J. M. R. *"Ferramentas para gestão da floresta urbana".* **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, Setembro de 2021, pg. 1-10.

ARAUJO, T. P.; MELLO, F. M. "Processamento de Imagens Digitais – Razão entre bandas". **Geociências**, v. 29, n. 1, Agosto de 2010, pg. 121-131.

BARBOSA, W. A.; CAVALCANTE, A. A. *"Comportamento Espaço-temporal de corpo hídrico submetido ao avanço da ocupação urbana:* o Lago Jacarey no contexto da cidade de Fortaleza, Ceará". **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 26, n. 1, Abril de 2024, pg. 236–256.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Estimativa populacional 2022 IBGE. Consulta em: 27 de setembro de 2024 (a).

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Área da unidade territorial – 2022. Consultado em 27 de setembro de 2024 (b).

CAMACHO, V. A. L.; MOSCHINI, L. E. "Planejamento Ambiental Urbano: a Relação entre a Cobertura Vegetal e Temperatura Superficial na Cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil." **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 10, n. 2, Agosto de 2021, pg. 116–131. DOI:10.21664/2238-8869.2021v10i2.p116-131. Disponível em: https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/5282. Acesso em: 14 abr. 2025.

DU, P.; LIU, P.; XIA, J.; FENG, L.; LIU, S.; TAN, K.; CHENG, L. "*Remote Sensing Image Interpretation for Urban Environment Analysis: Methods, System and Examples."* **Remote Sens**., v. 6, 2014, pg. 9458-9474. DOI: https://doi.org/10.3390/rs6109458

GOOGLE EARTH PRO. Versão 7.3.6.9345. Google LLC, 2001. Disponível em: https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/ Acesso em: 15 de fevereiro de 2025.

MATLAB R2024 (The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA).

MORATO, R. G. **Análise espacial e desigualdade ambiental no município de São Paulo.** 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-25112009-112210/. Acesso em: 14 abr. 2025.

MOURA, A. G. A. F.; SILVA, E. F.; ORLANDA, J. F. F. *"Dinâmica da expansão urbana na Ilha de Outeiro/PA"*. **Revista Equador**, v. 12, n. 1, Junho de 2023, pg. 54-70.

PARANÁ. Instituto de Água e Terra (IAT). Barragens no Estado do Paraná. Disponível em: https://geopr.iat.pr.gov.br/portal/apps/dashboards/b95898cc3c5d4081b47a05654ba2314c>.

SILVEIRA, R. S. **A influência da cobertura vegetal no conforto térmico da área urbana no município de Rio Claro – SP.** 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 2023.

Caracterização físico-química da biomassa da *Euphorbia tirucalli* (avelós) visando seu aproveitamento energético

Edson Fernando de Vasconcelos[1], Gabriela Aurora Alexandre de Vasconcellos[2], Michele Di Domenico[3], Silvia Layara Floriani Andersen[4], José Luiz Francisco Alves[5]

[1]*Universidade Federal da Paraíba (edson.vasconcelos@cear.ufpb.br)*
[2]*Universidade Federal da Paraíba (auroravasc@gmail.com)*
[3]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (micheled@utfpr.edu.br)*
[4]*Universidade Federal da Paraíba (silvia@cear.ufpb.br)*
[5]*Universidade Federal da Paraíba (joseluiz@cear.ufpb.br)*

Resumo: A crescente necessidade por fontes energéticas sustentáveis impulsiona a pesquisa de matérias-primas alternativas para a produção de biocombustíveis. A Euphorbia tirucalli (avelós) se destaca como uma biomassa promissora devido à sua elevada densidade bioenergética (7,07 GJ/m³), alto poder calorífico superior (19,13 MJ/kg) e significativo potencial de retenção de CO_2. Este estudo investiga a análise imediata e caracterização da biomassa do avelós, avaliando a conversão térmica e a qualidade dos biocombustíveis gerados. Os resultados indicam que a elevada razão material volátil/carbono fixo (9,34) favorece a produção de gases combustíveis, enquanto o baixo teor de cinzas (9,79%) melhora a eficiência energética. Assim, a caracterização da biomassa do avelós se apresenta como uma alternativa viável e sustentável para a utilização na produção de biocombustíveis avançados, especialmente em regiões de clima seco.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Gases combustíveis. Biomassa energética.

Physico-chemical characterization of the biomass of Euphorbia tirucalli (avelos) aiming at its energy harnessing

Abstract: The growing demand for sustainable energy sources drives research on alternative feedstocks for biofuel production. Euphorbia tirucalli (avelós) stands out as a promising biomass due to its high bioenergy density (7.07 GJ/m³), superior calorific value (19.13 MJ/kg), and significant CO_2 retention potential. This study investigates the immediate analysis and characterization of avelós biomass, evaluating thermal conversion and biofuel quality. Results indicate that the high volatile matter/fixed carbon ratio (9.34) favors combustible gas production, while the low ash content (9.79%) enhances energy efficiency. Thus, the characterization of avelós biomass emerges as a viable and sustainable alternative for advanced biofuel production, particularly in dry climates.

Key words: Biofuels. Combustible gases. Energy biomass.

Introdução

O setor de transportes é uma fonte significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE), tornando-se um desafio para a mitigação das mudanças climáticas (Ourworldindata, 2020). Segundo a nota técnica da EPE (2022), a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis sustentáveis, representa uma estratégia promissora para a descarbonização do setor de transportes. Em 2021, foi inaugurado o Programa Combustível do Futuro, que visa ampliar a participação de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, integrando diversas políticas públicas, como o RenovaBio, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, o Programa Nacional de Etiquetagem Veicular e o Rota 2030. O uso do bioquerosene de aviação e de alternativas sustentáveis no setor marítimo também foram incluídos. Adicionalmente, medidas para a captura de carbono na produção de biocombustíveis e de hidrogênio foram propostas por esse programa (Casa Civil, 2021; CNPE, 2021). De acordo com Alves *et al.* (2020), várias biomassas com elevado perfil energético e escolhidas como referências, com base em sua ampla utilização na produção de bioenergia, conforme destacado no Balanço Energético Nacional (BEN/ano-base 2022), podem ser comparadas a outras halófitas como uma alternativa viável e sustentável para a produção de biocombustíveis avançados. A *Euphorbia tirucalli* destaca-se por sua adaptabilidade à condições semiáridas e por suas propriedades físico-químicas favoráveis à conversão energética. Seu elevado poder calorífico superior (19,13 MJ/kg) e baixa produção de cinzas (9,79%) conferem-lhe eficiência na geração de bioenergia. Neste contexto, este estudo visa analisar a caracterização físico-química da biomassa do avelós, investigando a conversão térmica da biomassa e seu aproveitamento energético.

Metodologia

As hastes verdes do avelós foram coletadas na microrregião do Agreste do semiárido pernambucano, na zona rural de Bezerros-PE. Para a coleta, utilizou-se uma tesoura de poda para cortar aproximadamente 10 kg de biomassa bruta. Após a coleta, a biomassa foi submetida à desidratação natural sob luz solar por três dias, permitindo a eliminação do extrato viscoso e cáustico, de aspecto leitoso, característico de plantas laticíferas. Em seguida, a biomassa semi-desidratada foi acondicionada em um saco plástico e transportada para o Laboratório de Materiais e

Química Ambiental (LabMAQ) do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba (CEAR/UFPB).

No LabMAQ, parte dos filamentos foi picotada com estilete em pedaços de aproximadamente 10 mm e submetida à análise de umidade utilizando uma balança térmica determinadora de umidade (AND/MF-50). Para garantir maior precisão, foi realizada uma análise em triplicata, onde uma amostra de 1 g foi mantida a 105 °C por cerca de 40 minutos até que a perda de massa se estabilizasse. Uma porção maior dos filamentos, aproximadamente 6 kg, foi então picotada em pedaços de cerca de 100 mm e submetida à secagem em uma estufa de circulação de ar forçada (MA-035) a 105 °C, por um período de 3 horas, até a estabilização da perda de massa. Após essa etapa, o material foi triturado em um moinho de facas (Solab/SL-31) e peneirado mecanicamente com uma peneira granulométrica (Caixilho Frame – inox, 8" x 2"). As amostras processadas foram encaminhadas para análises físico-químicas e termogravimétricas em forno mufla (Quimis/Q318M) para obtenção de cinzas e caracterização do material orgânico. A amostra foi dividida em três partes aproximadas, alocadas em cadinhos de massa previamente conhecida. As massas individuais das amostras foram: 1,0157 g, 1,0110 g e 1,0120 g, respectivamente.

Os dados incluíram a tara de cada cadinho, o peso bruto total (PBT) inicial e final, após o processo de combustão no forno mufla a 575 °C por uma hora. A massa líquida das cinzas foi calculada subtraindo-se a tara do cadinho do PBT final.

Para a caracterização térmica e composição do material volátil e de carbono fixo, foram adotados os seguintes procedimentos experimentais. Primeiramente, uma amostra de 3,2 g de biomassa em pó, com granulometria máxima de 150 µm, foi submetida a um processo de desidratação controlada utilizando a balança térmica determinadora de umidade (AND/MF-50). A umidade residual da amostra foi reduzida para 6,20%, garantindo que a biomassa estivesse em condições ideais para a análise térmica subsequente. Após a secagem, a amostra foi cuidadosamente dividida em três frações iguais, cada uma pesando exatamente 1,000 g, assegurando a uniformidade e precisão nos testes de material volátil realizados em cadinhos de massa conhecida. Cada parte foi colocada em cadinhos distintos e levada à mufla, pré-aquecida a 950 °C. Os cadinhos permaneceram na mufla por 5 minutos, após um pré-aquecimento na porta por 2 minutos.

Para a análise de densidade da biomassa do avelós, foi realizado um experimento em triplicata, utilizando a biomassa em pó com um tamanho máximo de partícula de 150 µm. Uma proveta volumétrica de 5 ml, com massa de 37,32 g, foi utilizada para determinar as concentrações de biomassa, com as respectivas medidas para cada cadinho, 0,3655 g/ml, 0,3500 g/ml e 0,3725 g/ml. A caracterização detalhada da biomassa do avelós, permitiu a sua comparação com outras biomassas lignocelulósicas, destacando o seu potencial promissor para aplicações energéticas.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstraram que a biomassa do avelós apresenta um índice FVI (Fuel Value Index) de 75,55 × 10^3 MJ/kg.m^3, superior a diversas biomassas convencionais, como mostra a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação energética do avelós e comparação com outras biomassas

Biomassa	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)	Densidade Aparente (kg/m^3)	Densidade Bioenergética (GJ/m^3)	FVI (x10^3)
Avelós	19,13	18,30	386,64	7,07	75,55
Capim elefante	15,61	14,37	230,00	3,31	43,46
Bagaço de cana	19,30	18,03	168,90	3,05	40,64
Palha de arroz	19,38	18,24	272,00	4,96	34,00
Casca de arroz	16,18	14,61	232,52	3,40	22,39
Serragem de eucalipto	19,96	18,49	281,30	5,20	16,78
Palha de cana	18,00	17,00	141,20	2,40	15,50
Serragem de pinus	20,53	18,99	175,60	3,33	15,16

Fonte: Alves *et al.* (2020)

Na análise do material volátil (MV) e carbono fixo (CF), foi pesada uma amostra inicial na balança de umidade que indicou 3,0387 gramas e determinou 6,20% de umidade inerente, no qual essa amostra foi dividida em partes iguais para três cadinhos e levados para o forno mufla pré aquecido a 950 ºC. Após o tempo de exposição, os cadinhos foram retirados, resfriados em temperatura ambiente sobre uma base refratária, e depois colocados em um dessecador para atingir a temperatura ambiente, os cadinhos foram pesados em balança analítica para determinar a massa residual da biomassa e o resultado final em base

seca das análises de MV e CF obtidos em média percentual foram: MV = 81,49% e CF = 8,72%. A Tabela 2 a seguir mostra os resultados de Cinzas, MV, CF e Umidade Inerente, respectivamente.

Tabela 2 – Parâmetros da análise imediata do avelós

Componentes	Base Úmida (%)	Base Seca (%)
Cinzas	9,18	9,79
Material Volátil	76,44	81,49
Carbono Fixo	8,18	8,72
Umidade Inerente	6,20	-

Fonte: próprio autor

A alta relação material volátil/carbono fixo de (9,34) favoreceu a conversão térmica e a formação de compostos orgânicos oxigenados no bio-óleo. O resultado apresentou uma quantidade média de cinzas obtida em base seca da biomassa analisada = 9,79%. A baixa quantidade de cinzas, minimizou a formação de resíduos sólidos, promovendo maior eficiência no processo, como demostra a tabela 3 em comparação entre diversas biomassas destinadas à produção de bioenergia, conforme destacado no Balanço Energético Nacional (BEN/ano-base 2022) na relação MV/CF.

Tabela 3 – Comparação da relação MV/CF entre diversas biomassas

Biomassa	Material Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	Cinzas (%)	MV/CF
Avelós	81,49	8,72	9,79	9,34
Casca de Ervilha	83,00	12,50	4,50	6,64
Serragem de Eucalipto	83,70	15,38	0,90	5,44
Casca de Amendoim	81,00	16,50	2,50	4,91
Casca de feijão	74,00	18,00	8,00	4,11
Casca de coco	79,20	19,40	1,40	4,08
Casca de avelã	77,00	20,80	2,20	3,70
Casca de café	83,20	14,30	2,50	5,82
Bagaço de cana-de-açúcar	76,92	15,18	7,90	6,07
Casca de castanha de caju	82,49	14,57	2,94	5,67

Bagaço de maçã	80,55	17,66	1,79	4,56
Bagaço de laranja	73,20	20,60	6,20	3,55
Bagaço de caju	73,98	24,18	1,84	3,06
Capim-elefante	85,59	6,74	7,67	12,70

Fonte: Alves *et al.* (2020)

Na análise de umidade utilizando a balança térmica determinadora de umidade (AND/MF-50), obteve-se um valor médio consistente de perda de umidade U = 89,4%. Comparado a outras biomassas lignocelulósicas, o avelós apresentou elevado rendimento em biocombustíveis líquidos, reforçando seu potencial energético. Após a trituração no moinho de facas e a peneiração mecânica, obteve-se 1 kg de pó de biomassa, com um tamanho máximo de partícula de 150 µm (malha 100 mesh). Na análise de densidade, o resultado final da biomassa em pó, com tamanho máximo de partícula de 150 µm, demonstrou uma densidade média aparente de 386,64 kg/m³. Os valores confirmam que o avelós possui uma elevada densidade energética como mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Análise de densidade da biomassa do avelós

Biomassa	**Perda de umidade (%)**	**Densidade Aparente (kg/m³)**
Avelós	89,4	386,64

Fonte: próprio autor

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a biomassa da Euphorbia tirucalli apresenta características altamente promissoras para aplicações energéticas. A elevada densidade bioenergética, o alto poder calorífico e a favorável relação MV/CF evidenciam seu potencial para a produção de biocombustíveis avançados. Além disso, sua adaptabilidade a regiões semiáridas reforça sua viabilidade como alternativa sustentável. Pesquisas futuras podem explorar a otimização dos processos de conversão térmica para maximizar o rendimento e a eficiência energética dessa biomassa.

Referências

Alves, J.L.F., da Silva, J.C.G., Mumbach, G.D. *et al.* (2020). Demonstrating the Suitability of Tamarind Residues to Bioenergy Exploitation Via Combustion. Bioenerg. Res., 13, 1308–1320. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10158-z.

Balanço Energético Nacional (BEN): ano-base 2022. Brasília, 2023. Disponível em: https://ben.epe.gov.br. Acesso em: 06 jan. 2025.

CASA CIVIL (2021). Aprovada a criação do Programa Combustível do Futuro. Disponível em: https://www.gov.br/casacivil. Acesso em: 15 fev. 2025.

CNPE (2021). Resolução CNPE n° 7, de 20 de abril de 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme. Acesso em: 15 fev. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Notas Técnicas – Geração de Energia. Disponível em:https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/notas-tecnicas- geracao-de-energia>. Acesso em: 16 fev. 2025.

OURWORLDINDATA (2020). Greenhouse gas emissions by sector. Disponível em: https://ourworldindata.org. Acesso em: 16 fev. 2025.

Caracterização do bagaço de *Agave sisalana* e avaliação de seu potencial para a produção de biohidrogênio

Valquíria dos Santos Lima[1], José Mateus de Morais [2] , Victória Maura Silva Bermúdez[3], Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa[4], Glória Maria Marinho Silva[5]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (valquíria.visdom@gmail.com) [2] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (jose.mateus.morais62@aluno.ifce.edu.br) [3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (vmsbermudez@gmail.com) [4] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (kelly@ifce.edu.br)
[5]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (gloriamarinho@ifce.edu.br)

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo realizar a caracterização do bagaço de *Agave sisalana*, uma planta originária da América Central, com ampla produção no Nordeste do Brasil, especialmente nos estados do Ceará e da Bahia. Durante o beneficiamento da *A. sisalana,* apenas 4% desta biomassa é aproveitada como fibra de sisal e o restante constitui um resíduo, ainda com pouco ou nenhum aproveitamento. Visando um aproveitamento nobre para este material, neste trabalho o bagaço de *A. sisalana* foi caracterizado quanto ao seu pH e teores de umidade, cinzas, proteínas, extrativos, lignina, holocelulose e alfacelulose. Os altos teores de celulose observados (47,52%) indicam que o material possui forte potencial para geração de produtos de valor agregado, como por exemplo, o hidrogênio verde. Outros resíduos agrícolas com composições semelhantes já foram investigados visando a produção de biohidrogênio e na literatura são encontrados registros que nos permitem concluir que também seja possível obter este produto a partir da *A. sisalana*. A identificação de resíduos agrícolas com potencial para a produção de energia limpa constitui tarefa promissora que deve ser priorizada, uma vez que alinha-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) da Agenda 2030.

Palavras-chave: *Agave sisalana*. Resíduo agrícola. Hidrogênio verde. Biohidrogênio.

Characterization of Agave sisalana *bagasse and evaluation of its potential for biohydrogen production*

Abstract: The present study aimed to characterize the bagasse of *Agave sisalana*, a plant native to Central America, with extensive production in the Northeast of Brazil, particularly in the states of Ceará and Bahia. During the processing of *A. sisalana*, only 5% of this biomass is utilized as sisal fiber,

while the remaining portion becomes waste, with little to no use. Aiming for a high-value application for this material, this study characterized the *A. sisalana* bagasse in terms of its pH, and contents of moisture, ash, proteins, extractives, lignin, holocellulose, and alpha-cellulose. The high cellulose content observed indicates that this material has strong potential for generating value-added products, such as biohydrogen. Other agricultural residues with similar compositions have already been investigated for biohydrogen production, and reports in the literature suggest that *A. sisalana* can also be used for this purpose. The identification of agricultural residues with potential for clean energy production is a promising task that should be prioritized, as it aligns with the Sustainable Development Goals (SDG 7) of the 2030 Agenda.

Key words: *Agave sisalana* Agricultural waste. Green hydrogen. Biohydrogen.

Introdução

Nas últimas décadas, o uso excessivo de combustíveis fósseis tem contribuído para o seu rápido esgotamento. Acerca deste assunto, pesquisas indicam que as reservas de gás natural podem esgotar em até 50 anos, enquanto que as de carvão fóssil podem ser exauridas em cerca de 114 anos (Siddique *et al.*, 2023). Tais dados reforçam a urgência em se pensar, desenvolver e implementar o uso de fontes alternativas de energia.

É importante pontuar ainda que, além do decréscimo nas reservas de combustíveis fósseis, um outro ponto deve ser observado quanto ao uso dessas fontes de energia: a consequente poluição ambiental (Siddique *et al.,* 2023). A queima de combustíveis fósseis contribui consideravelmente para o agravamento de problemas ambientais, como as mudanças climáticas, uma vez que durante a queima são liberados gases como o dióxido de carbono e os óxidos de nitrogênio, que intensificam o efeito estufa.

De acordo com Pendse *et al.* (2023), como medida para o enfrentamento desses problemas, muitos países têm investido no uso de fontes de energia alternativas e sustentáveis. Nesse contexto, Sayed *et al.* (2023) observaram a ocorrência de um rápido crescimento na produção e no uso de energias renováveis na última década. Os autores consideram como principais fontes de energia renováveis aplicadas em larga escala as fontes solar, eólica, de biomassa e oceânica.

No contexto do uso de energias renováveis, Siddique *et al.* (2023) consideram promissor o uso de resíduos agrícolas, florestais e industriais como alternativa para atender a crescente demanda por energia. Os autores consideram ainda que estes resíduos são fundamentais para

a geração sustentável de biocombustíveis e bioprodutos, contribuindo para a transição energética e para o desenvolvimento de inovações industriais. Pendse *et al.* (2023) consideram que existem oportunidades inéditas no campo da bioconversão de materiais lignocelulósicos em biocombustíveis, havendo a possibilidade de, com isto, substituir o uso de produtos derivados de combustíveis fósseis.

Um exemplo de resíduo agrícola ainda pouco aproveitado é o bagaço de *Agave sisalana*, um resíduo lignocelulósico que sobra do processo produtivo do sisal (Delfin-Ruíz *et al.*, 2021). De acordo com IBGE (2025), estima-se que no Brasil mais de 100.000 hectares estão dedicados à *A. sisalana*, uma cultura destinada à extração de sisal, uma fibra de grande importância na indústria artesanal. Estima-se ainda que a agave movimentou em 2023 mais de R$ 300 milhões devido à produção de 95.567 toneladas de fibras, o que demonstra um rendimento médio de 922 kg/ha (IBGE, 2025). O estado da Bahia despontou como o maior produtor nacional de agave, sendo responsável por cerca 94,60% de toda produção do Brasil.

No estado do Ceará, a produção da cultura de *A. sisalana* está centralizada nos municípios de Caririaçu e Granjeiro. Juntos, esses municípios alcançaram uma produção combinada de aproximadamente 55 toneladas no ano de 2023 (IBGE, 2025). Apesar da importância econômica da *A. sisalana*, conforme Apolinário (2014 apud Santos *et al.*, 2019), o processo de decorticação das folhas do sisal para a obtenção das fibras resulta na geração de resíduos sólidos. Santos *et al.* (2013) estimam que já que apenas 4% das folhas da *A. sisalana* são aproveitadas na forma de fibras.

A mucilagem de sisal, um subproduto vegetal, trata-se de uma biomassa residual de natureza lignocelulósica, rica em lignina, celulose e hemicelulose (da Silva, 2023). Para Muthangya *et al*. (2009), a agave representa um recurso biológico subutilizado, uma vez que os resíduos gerados após seu aproveitamento muitas vezes são descartados ao invés de serem explorados de forma eficiente e sustentável, podendo ser aplicados, por exemplo, para a produção do biohidrogênio. Essa produção é possível após a celulose presente na biomassa ser acessada e convertida a açúcares redutores (glicose). Se, após isso, os açúcares redutores obtidos forem conduzidos a um reator em condições anaeróbias é possível nele produzir hidrogênio verde.

Assim, este trabalho teve por objetivo realizar uma caracterização completa do bagaço de *Agave sisalana*, para identificar o potencial deste material como fonte alternativa para a produção de biohidorgênio.

Metodologia

O bagaço de *A. sisalana* utilizado nesta pesquisa foi adquirido de um produtor rural por meio de doação e foi coletado no Município de Caririaçu-CE, em localidade denominada Sítio São Paulo. Após a coleta, a amostra foi acondicionada em embalagens de polipropileno e armazenada em caixas de papelão para transporte. No Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agroindústria Tropical (Fortaleza-CE), o bagaço de agave foi moído em Moinho com rotor PULVERISETTE 16 Fritsch utilizando peneira de 20 mesh. Após a moagem o material foi novamente acondicionado em sacos de polipropileno.

A caracterização do bagaço de *A. sisalana* foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Biomassa e no Laboratório de Análises de Alimentos, ambos ligados à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agroindústria Tropical (Fortaleza-CE). A amostra foi submetida a ensaios para determinação do pH e dos teores de umidade, cinzas, proteínas, extrativos, lignina, holocelulose e alfacelulose.

A determinação do pH foi realizada a partir de leitura em pHmetro digital (Mettler Toledo, modelo F20, Ohio, EUA) calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 (AOAC, 2016). A determinação do teor de proteína foi realizada por combustão, segundo o método de DUMAS em equipamento Analisador de Nitrogênio/Proteína NDA 701 Dumas, utilizando EDTA como padrão, com base no método da AOAC 992.23 (AOAC, 2016). Os ensaios para avaliação dos teores de umidade, cinzas, proteínas, extrativos, lignina, holocelulose e alfacelulose foram realizados conforme metodologia descrita em Morais *et al.* (2010).

Após a caracterização do material, os dados obtidos foram comparados a outros disponíveis na literatura. Para efeitos de comparação, o portal dos periódicos da CAPES foi consultado e foram selecionados os 04 (quatro) artigos científicos mais recentes que em seu escopo continham uma caracterização completa do bagaço de *A. sisalana.*

Após isso, os periódicos da CAPES foram novamente consultados, de modo a localizar aleatoriamente 05 (cinco) artigos científicos, cuja publicação se deu entre os anos de 2022 e 2024, que abordaram a caracterização de alguma biomassa lignocelulósica específica. A escolha limitou-se a artigos nos quais foram determinados os teores de lignina, celulose e hemicelulose, restringindo-se a trabalhos que tinham como objetivo a produção de hidrogênio verde a partir dessa biomassa. Por fim, os dados obtidos em laboratório e na literatura foram tabulados para facilitar sua compreensão.

Resultados e discussões

A caracterização do bagaço de *Agave sisalana* foi realizada conforme descrito na metodologia deste trabalho. Adotando-se os procedimentos citados, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 01, que descreve o bagaço de *A. sisalana* em termos de pH, teores de proteína, umidade, cinzas, extrativos, lignina, celulose e hemicelulose.

Tabela 01 – Caracterização do bagaço de *Agave sisalana*

Bagaço de *A. sisalana*	
pH	10,8 ± 0,0320
Proteínas (%)	7,0 ± 0,0065
Umidade (%)	11,4777 ± 0,4566
Cinzas (%)	23,9037 ± 0,3985
Extrativos (%)	6,3285 ± 0,4163
Lignina insolúvel (%)	20,1685 ±0,8875
Holocelulose (%)	60,4837 ±2,4007
Alfacelulose (%)	47,5226 ±0,7345
Hemicelulose (%)	12,9611 ±1,1846

Fonte: Os autores

Para efeitos de comparação, o portal dos periódicos da CAPES foi consultado e foram selecionados os 04 (quatro) artigos científicos mais recentes que em seu escopo continham uma caracterização completa da composição lignocelulósica do bagaço de *A. sisalana*. Os artigos selecionados foram publicados entre os anos de 2023 e 2024, o que

ressalta o atual interesse quanto à pesquisa e exploração do potencial biotecnológico deste substrato. Ressalta-se ainda que, apesar de se tratar de uma planta originária da América Central, todos os artigos selecionados tratavam de substratos coletados no nordeste do Brasil.

Alternativamente, outros artigos recentes contemplavam a caracterização do bagaço de outras espécies de agave, como por exemplo a *Agave tequilana,* diferentes da objeto deste estudo. Por se tratarem de espécies diferentes, estes últimos dados não foram utilizados nas discussões deste trabalho.

Os resultados das variáveis analisadas no presente trabalho para caracterização do bagaço da agave concordam com àqueles obtidos por da Silva *et al.* (2023), que em sua pesquisa caracterizaram o bagaço de *A. sisalana* com a finalidade de melhor compreendê-lo, a fim de aplicá-lo em ensaios de biossorção em solos contaminados com metais pesados. No entanto, em da Silva *et al.* (2023), além de lignina insolúvel, foi avaliado o teor de lignina solúvel, o que permitiu a determinação do teor de lignina total, uma variável não investigada no presente trabalho. O bagaço avaliado por da Silva *et. al* (2023) também foi coletado no município de Caririaçu-CE, assim como o analisado neste trabalho, no entanto, não é possível afirmar que o mesmo é oriundo da mesma localidade que o utilizado nesta pesquisa.

Silva *et al.* (2024) também estudaram o bagaço de *A. sisalana* e nos estudos desenvolvidos por estes pesquisadores encontraram-se teores de extrativos e hemicelulose (6,0 e 16,7%, respectivamente) semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. No entanto, outras variáveis como os teores de cinzas (14,0%) e celulose (37,2%) são notadamente inferiores aos observados na presente pesquisa. As pesquisas desenvolvidas por Silva *et al.* (2024) foram conduzidas para avaliar a aplicabilidade deste substrato quanto à remoção de bisfenol-A, um contaminante emergente.

Os resultados encontrados no presente trabalho divergem daqueles dispostos em Thomas *et al.* (2024), especialmente quanto às variáveis extrativos e holocelulose. Esta última trata-se de uma variável importante, uma vez que, conforme Segato *et al.* (2014), refere-se à fração da biomassa lignocelulósica formada por polissacarídeos, que formam um grande reservatório de energia, ligados por ligações C–H em polímeros difíceis de quebrar. Destaca-se que, dentre os trabalhos selecionados, o de Thomas *et al.* (2024) foi o que avaliou uma menor quantidade de variáveis para a caracterização do bagaço de *A. sisalana*.

Cunha *et al.* (2024) avaliaram em seu trabalho a viabilidade da aplicação de técnicas de compostagem para o melhoramento da produção de bio-óleo a partir do resíduos de sisal, mas, antes disso, investigaram a composição lignocelulósica do bagaço de *A. sisalana.* Os resultados por eles apresentados contrastam com os aqui obtidos, uma vez que Cunha *et al.* (2024) encontraram baixos teores holocelulose (20,1%), celulose (14,1%) e hemicelulose (6,0%) no substrato por eles avaliado.

Apesar das semelhanças e divergências, em todos os trabalhos concluiu-se que o bagaço de agave possuía boa aplicabilidade para a finalidade pretendida, dados os teores de lignina, celulose e hemicelulose encontrados nos substratos avaliados. Estas reflexões seguem sintetizadas na Tabela 02, que compara os resultados obtidos nesta pesquisa quanto à caracterização do bagaço de *A. sisalana*, com os resultados obtidos por da Silva *et. al* (2023), Silva *et. al* (2024), Thomas *et al.* (2024) e Cunha *et al.* (2024).

Tabela 02 – Caracterização do bagaço de *Agave sisalana* por diferentes autores

	Os autores	**da Silva *et. al* (2023)**	**Silva *et. al* (2024)**	**Thomas *et. al* (2024)**	**Cunha *et al.* (2024)**	**Desvio Padrão**
pH	10,8	-	-	-	-	-
Proteína (%)	7,0	-	-	-	-	-
Umidade (%)	11,5	12,7	8,4	4,6	-	3,629
Cinzas (%)	23,9	17,3	14,0	12,1	11,1	5,170
Extrativos (%)	6,3	7,6	6,0	23,2	52,7	20,084
Lignina ins. (%)	20,2	2,0	-	-	-	12,848
Lignina total (%)	-	5,9	15,5	13,0	9,5	4,198
Holocelulose (%)	60,5	56,5	53,9	42,4	20,1	9,502
(Alfa) Celulose (%)	47,5	45,1	37,2	-	14,1	16,334
Hemicelulose (%)	13,0	11,4	16,7	-	6,0	4,440

Fonte: Os autores

A partir da Tabela 02 observa-se que o presente trabalho foi o que realizou uma caracterização mais completa do bagaço de *A. sisalana,* deixando apenas de avaliar a variável "lignina total". Observa-se ainda que os teores de lignina, holocelulose e alfacelulose obtidos quando da caracterização do bagaço de agave são superiores aos encontrados nos artigos analisados.

Os teores de lignina, celulose e hemicelulose obtidos nesta etapa deste trabalho são relevantes e assemelham-se a teores obtidos em pesquisas que buscavam caracterizar outros tipos de biomassa lignocelulósica para fins de produção de hidrogênio verde.

Após nova consulta ao portal dos periódicos da CAPES, foram selecionados aleatoriamente 05 (cinco) artigos científicos, cuja publicação se deu entre os anos de 2022 e 2024, que abordaram a caracterização de alguma biomassa lignocelulósica específica. A escolha limitou-se a artigos nos quais foram determinados os teores de lignina, celulose e hemicelulose, restringindo-se a artigos que tinham como objetivo a produção de hidrogênio verde a partir dessa biomassa. A Tabela 03 apresenta uma síntese dos artigos selecionados e dos resultados extraídos deles.

Tabela 03 – Comparação de diferentes resíduos agrícolas quanto às frações lignocelulósicas

	A autora	**Miftah *et al.* (2022)**	**Bolonhesi *et al.* (2023)**	**Balakrishnan *et al.* (2023)**	**Jiang *et al.* (2023)**	**Rani *et al.* (2024)**	
Substrato analisado	**Bagaço de Agave sisalana**	**Folha de cana-de-açúcar**	**Caule de mandioca**	**Grama napier**	**Palha de trigo**	**Palha de arroz**	**Desvio Padrão**
Lignina (%)	20,17	27,68	28	28,47	17,1	13,81	6,370
Celulose (%)	47,52	36,18	35	35,44	44,4	35,50	5,489
Hemicelulose (%)	12,96	25,23	21	20,05	24,7	24,19	4,616

Fonte: Os autores

Os artigos selecionados avaliaram biomassas lignocelulósicas diversas, a saber, folha de cana-de-açúcar, resíduo da mandioca, grama napier, palha de arroz e palha de trigo.

Quando comparado aos demais substratos, o bagaço de *A. sisalana* apresentou baixa concentração de lignina (20,17%) e a menor concentração de hemicelulose (12,96%) entre os substratos avaliados, o que pode indicar que o bagaço de *A. sisalana* pode ser mais facilmente aproveitado num processo de hidrólise enzimática.

Isso porque, conforme Shimizu (2018), a hemicelulose e a lignina funcionam como uma barreira, protegendo a celulose, culminando na baixa acessibilidade desta à ação de enzimas, dificultando o processo de hidrólise enzimática da celulose. Adicionalmente, o mesmo autor acrescenta que a lignina é um tipo de polímero aromático e sua presença afeta a digestão e a transformação da biomassa em outros produtos. Assim, quando existem baixos teores de hemicelulose e lignina, a celulose fica mais exposta, facilitando o acesso de enzimas.

Condição diversa foi encontrada no caule de mandioca e na grama napier, que apresentaram teores mais altos de lignina (28% e 28,47%, respectivamente), o que poderia dificultar o acesso e a degradação da celulose por enzimas e, como consequência, limitar a produção de açúcares redutores e biogás. Além disso, estes substratos apresentaram os teores mais baixos de celulose (35 e 35,44%, respectivamente). Apesar do exposto, Bolonhesi *et al.* (2023) e Balakrishnan *et al.* (2023) obtiveram êxito na produção de hidrogênio a partir destes resíduos após realizarem pré-tratamento para remoção de remoção de hemicelulose e lignina.

Bolonhesi *et al.* (2023) avaliaram o potencial do caule de mandioca para a produção de hidrogênio ao utilizá-lo como material de suporte em um reator de biofilme de sequenciamento anaeróbio (AnSBBR) num processo de fermentação escura. Em seus experimentos, os autores obtiveram uma taxa de produção volumétrica de hidrogênio entre 670 e 1.480 mL H_2/L.d ao variarem as condições operacionais no reator. Além disso, a produção de hidrogênio foi favorecida pela adoção de dois tipos de pré-tratamento: a hidrólise ácida e a hidrólise a vapor.

Visando favorecer a acessibilidade à celulose, Balakrishnan *et al.* (2023) realizaram o pré-tratamento alcalino da grama napier e concluíram que a adoção de condições mesofílicas favoreceu a produção máxima de hidrogênio (763,34 mL), observando que o pH 5,5 foi mais indicado para a produção de hidrogênio por fermentação escura.

A palha de trigo (Jiang *et al.,* 2023) apresentou uma composição balanceada, com teores consideráveis de hemicelulose (24,7%). Jiang *et al.* (2023) utilizaram este subtrato submetendo-o a um pré-tratamento do substrato com ácido oxálico diidratado, seguido de um pré-tratamento enzimático com celulase (Cellic@ CTec3, 160 FPU/ml). O material pré-tratado seguiu para fermentação aneróbia em um reator tubular de vidro (417 mL) com suspensão de *Enterobacter aerogenes* a 37 °C, no qual obteve-se um rendimento máximo de biohidrogênio de 114,04 mL H_2/g ST.

Rani *et al.* (2024) produziram 90,52 mL de hidrogênio ao realizar experimentos com palha de arroz. Os autores operaram reatores em batelada de 125 mL selados com tampa hermética, mantidos a 37°C e agitados a 120 rpm, nos quais zelou-se pela inibição de bactérias metanogênicas ou outras bactérias consumidoras de hidrogênio, bem como pelo enriquecimento das culturas de produtoras de hidrogênio. A baixa produção de hidrogênio pode ser justificada por possíveis falhas na etapa de pré-tratamento, realizado com hidróxido de sódio 2%.

Miftah *et al.* (2022), investigando a aplicação da folha de cana-de-açúcar como substrato para produção de H_2 por digestão anaeróbia, realizaram dois pré-tratamentos na biomassa: um químico, com solventes eutéticos profundos, e um biológico, utilizando microrganismos celulolíticos. Após esta etapa os autores obtiveram uma expressiva produção volumétrica de hidrogênio, entre 2.135 e 3.187 mL H_2/L.

A folha de cana-de-açúcar apresentou 25,23% de hemicelulose (Miftah *et al.*, 2022), que é fonte importante de açúcares fermentáveis, o que pode ter favorecido a conversão para biohidrogênio. É importante ainda pontuar que encontra-se maior quantidade de celulose no bagaço de agave (47,52%) , quando comparado a folha de cana-de-açúcar (36,18%), pode torná-lo mais atrativo para processos de produção de biohidrogênio, desde que as dificuldades de conversão devido ao alto teor de lignina possam ser superadas.

Conclusão

O presente trabalho se propôs a apresentar uma caraterização do bagaço de *A. sisalana*, um resíduo agrícola para o qual ainda há pouco aproveitamento, apesar de ser gerado em grande quantidade no Nordeste do Brasil. No trabalho apresentou-se uma caracterização mais completa do bagaço de *A. sisalana,* quando comparado a outros disponíveis nos

periódicos da CAPES, deixando apenas de avaliar a variável lignina total. O material avaliado apresenta alto teor de celulose (47,52%), o que demonstra seu potencial para a geração de produtos de valor agregado. Assim, o presente trabalho representa um avanço ao identificar o potencial deste material para a produção de biohidrogênio. Dentre os desafios para esta produção, cita-se a necessidade de realização de um pré-tratamento, a fim de tornar a celulose mais acessível para sua posterior conversão a açúcares redutores. No entanto, conforme observado após consulta aos periódicos da CAPES, a obtenção de biohidrogênio foi possível em materiais com menor teor de celulose, indicando que o bagaço de *A. sisalana* possui significativo potencial, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) da Agenda 2030. Recomenda-se a realização de pesquisas futuras para a produção de biohidrogênio por meio do bagaço de agave utilizando, preferencialmente, pré-tratamento biológicos por serem ambientalmente amigáveis.

Referências

APOLINÁRIO, A. C. Obtenção de produtos de interesse farmacêutico a partir do Agave sisalana perrine ex engelm.: uma proposta de revitalização da cultura sisaleira na Paraíba. 2014. 164 f. Dissertação – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). Official methods of analysis.off AOAC International. 20 ed. USA, 2016.

BALAKRISHNAN, D., MANMAI, N., PONNAMBALAM, S., UNPAPROM, Y.,

CHAICHOMPOO, C., & RAMARAJ, R. (2023). Optimized model of fermentable sugar production from Napier grass for biohydrogen generation via dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, *48*(55), 21152–21160.

BOLONHESI, I. B. DE T. M., ANDREANI, C. L., DE MELO, M. R., GOMES, S. D., &

LOPES, D. D. (2023). Biomass immobilization in hydrolyzed lignocellulosic material can enhance biohydrogen production from cassava residues? *Biochemical Engineering Journal*, *190*(108725), 108725.

CUNHA, F. S., LIMA, S. B., & PIRES, C. A. DE M. (2024). Upgrade of bio-oil produced from the sisal residue composting. *Global Change Biology. Bioenergy*, *16*(3). https://doi.org/10.1111/gcbb.13129

DA SILVA, M. G., GARCIA, K. G. V., MATTOS, A. L. A., PEREZ, E. H., DA SILVA MARTINS, T., DE AQUINO SOUSA, L. F. R., DA COSTA PINTO, A. M., & ESCOBAR, M. E. O. (2023). Reduction of Cd2+ and Pb2+ bioavailability in contaminated soil treated with sisal residues (*Agave sisalana*). *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 111.

DELFIN-RUÍZ, M.E., CALDERÓN-SANTOYO, M. RAGAZZO-SÁNCHEZ, J.A., GÓMEZ-RODRÍGUEZ, J., AGUILAR-USCANGA, M.G. Ethanol Production from Enzymatic Hydrolysates Optimized of Agave tequilana Weber var. azul and Agave karwinskii bagasses. BioEnergy Research (2021) 14:785–798. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10196-7

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola – Lavoura Permanente | Sisal ou agave. Disponível em: <cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/12040>

JIANG, J., FU, J., AN, N., ZHANG, Y., CHEN, X., & WANG, L. (2023). Rapid and effective molten oxalic acid dihydrate pretreatment to enhance enzymatic saccharification for biohydrogen production by efficient coextraction of lignin and hemicellulose in wheat straw. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, *475*(146422), 146422.

MUTHANGYA, M.; MSHANDETE, A. M.; KIVAISI, A. K. Two-Stage Fungal Pre-Treatment for Improved Biogas Production from Sisal Leaf Decortication Residues. Int. J. Mol. Sci. (2009), 10, 4805-4815; doi: 10.3390/ijms10114805

MIFTAH, A. K., SITTIJUNDA, S., IMAI, T., SALAKKAM, A., & REUNGSANG, A. (2022). Biohydrogen and methane production from sugarcane leaves pretreated by deep eutectic solvents and enzymatic hydrolysis by cellulolytic consortia. *Fermentation*, *8*(8), 396.

PENDSE, D. S.; DESHMUKH, M.; PANDE, A. Different pre-treatments and kinetic models for bioethanol production from lignocellulosic biomass: A review. Heliyon, v. 9, n. 6, 2023.

RANI, P., RAM, C., YADAV, A., YADAV, D. K., BISHNOI, K., & BISHNOI, N. R. (2024). Comparative analysis of various seed sludges for biohydrogen production from alkaline pretreated rice straw. *Nature, environment and pollution technology*, *23*(2), 1065–1073.

MORAIS, J. P. S., ROSA, F. M., & MARCONCINI, J. M. (2010). Procedimentos para analise lignocelulosica. Embrapa [54 p.]

SANTOS, R. D. dos; NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; ARAUJO, G. G. L. de; VOLTOLINI, T. V.; COSTA, C. T. F.; OLIVEIRA, G. F. de. Coprodutos do desfibramento do sisal como alternativa na alimentação de ruminantes. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. 5 p. il..

SAYED, E., OLABI, A., ALAMI, A., RADWAN, A., MDALLAL, A., REZK, A., & ABDELKAREEM, M. (2023). Renewable energy and energy storage systems. *Energies*, *16*(3).

SHIMIZU F. L. Remoção de lignina e hemicelulose: influência na acessibilidade à celulose e sacarificação enzimática. Dissertação do Programa de pós-graduação em microbiologia aplicada do Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, p. 38, 2018.

SIDDIQUE, M., NAWAZ MENGAL, A., KHAN, S., ALI KHAN, L., & KHAN KAKAR, E. (2023). Pretreatment of lignocellulosic biomass conversion into biofuel and biochemical: a comprehensive review. *MOJ biology and medicine*, *8*(1), 39–43. doi:10.15406/mojbm.2023.08.00181 SILVA, A.,

XAVIER, F., DA FONSECA, M., & DA CONCEIÇÃO, M. (2024). Preparation of TiO2/lignin composites with agave sisalana residue for bisphenol-A removal. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *35*(9), e-20240066. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20240066

THOMAS, H. Y., CAVALCANTE, J. D. N., DE ARAÚJO PADILHA, C. E., DOS SANTOS, E. S., GASPARIN, F. P., DA SILVA RIES, L. A., SALES, A. T., MENEZES, R. S. C., &

DUTRA, E. D. (2024). Valorization of lignocellulosic agave residues via pyrolysis and its use as adsorbent for methylene blue removal. *Biomass Conversion and Biorefinery*. https://doi.org/10.1007/s13399-024-05687-y

Margem equatorial, transição energética e o compromisso do Brasil com os ODS

Giovani Spinelli de Almeida[1], Jordana Isse [2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (gsalmeida10@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (jisse@ucs.br)*

Resumo: Inserido no âmbito do Direito Ambiental, o presente artigo analisa a exploração de petróleo na Margem Equatorial da Foz do Rio Amazonas, a partir das políticas e medidas no panorama legislativo e administrativo buscando a transição energética os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. O objetivo geral é verificar a compatibilidade entre a atividade petrolífera e os compromissos climáticos e ambientais assumidos pelo Brasil, considerando a legislação nacional e internacional. A metodologia utilizada compreende a pesquisa bibliográfica e documental, analisando normativas, artigos científicos e relatórios institucionais sobre o tema. Os resultados apontam para desafios regulatórios, riscos ambientais e a necessidade de fortalecimento da governança ambiental e da participação social nas decisões sobre a exploração de recursos naturais. Conclui-se que, diante da urgência da transição energética, é fundamental adotar políticas públicas que conciliem desenvolvimento econômico e a proteção ambiental.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Sustentabilidade. Meio ambiente.

Equatorial margin, energy transition, and Brazil's commitment to the SDGs

Abstract: Inserted within the scope of Environmental Law, this article analyzes the exploration of oil in the Equatorial Margin of the Amazon River Mouth, from the perspective of the Energy Transition Policy and the Sustainable Development Goals. The general objective is to assess the compatibility between the oil activity and the climate and environmental commitments undertaken by Brazil, considering both national and international legislation. The methodology used includes bibliographic and documentary research, analyzing regulations, scientific articles, and institutional reports on the topic. The results point to regulatory challenges, environmental risks, and the need to strengthen environmental governance and public participation in decisions regarding the exploitation of natural resources. It is concluded that, given the urgency of the energy transition, it is essential to adopt public policies that reconcile economic development and environmental protection.

Keywords: Sustainable Development. Sustainability. Environment.

Introdução

A exploração de recursos naturais constitui um dos pilares do desenvolvimento econômico mundial, sendo o petróleo um dos principais insumos energéticos utilizados ao longo dos séculos XX e XXI. No Brasil, a Margem Equatorial, composta pelas bacias sedimentares da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar, vem sendo objeto de intensos debates acerca da viabilidade de sua exploração petrolífera (Petrobras, 2025). Tal discussão emerge no contexto da transição energética e dos compromissos ambientais assumidos pelo Brasil, especialmente no âmbito do Acordo de Paris (2015) e da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

O embate entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade se reflete nos argumentos favoráveis e contrários à exploração da Margem Equatorial. De um lado, setores econômicos apontam para os benefícios decorrentes da autossuficiência energética, da geração de empregos e do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (CNI, 2024). De outro, ambientalistas e estudiosos do clima alertam para os riscos ambientais, incluindo a perda de biodiversidade, a contaminação de ecossistemas marinhos e o aumento das emissões de gases de efeito estufa (Barbosa de La Cadena; Bertotti Júnior, 2024).

Este estudo visa analisar a exploração petrolífera na Margem Equatorial à luz da Política Nacional de Transição Energética (PNTE) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com foco nas implicações ambientais dessa atividade. Busca-se, assim, refletir se a exploração do petróleo na Margem Equatorial está alinhada com as diretrizes protetivas ambientais, avaliando o cenário regulatório brasileiro no contexto da transição energética. Além disso, o trabalho objetiva identificar as metas estabelecidas pela Agenda 2030 no que se refere à exploração de recursos fósseis, verificando em que medida essas metas influenciam ou estabelecem limitações para a exploração dessas fontes energéticas.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, será utilizada a técnica de pesquisa exploratória e bibliográfica, sendo que este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, fundamentado principalmente na juridicidade internacional e na doutrina, na sua interface ambiental. O método de pesquisa adotado foi o analítico-normativo, de natureza dedutiva, utilizando-se a técnica

de análise bibliográfica, com refino na busca das categorias científicas observadas, atrelando o tema aos fatos e fenômenos sociais vinculados ao problema de pesquisa.

Neste contexto, torna-se essencial investigar a exploração petrolífera na Margem Equatorial sob a ótica da Política Nacional de Transição Energética (PNTE) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A transição para uma economia de baixo carbono requer não apenas investimentos em fontes de energia renováveis, mas também uma revisão crítica das atividades extrativistas que impactam negativamente o meio ambiente.

O Cenário Regulatório Brasileiro Na Transição Energética

A exploração de petróleo no Brasil é uma realidade. A novidade é a discussão travada entre a viabilidade do potencial desta fronteira energética e a transição das energias fósseis para energias renováveis. A Margem Equatorial, aqui estudada, é composta por cinco bacias brasileiras: a do Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar. Ela está localizada entre os Estados do Amapá e Rio Grande do Norte (Petrobras, 2025).

A extração de petróleo na Margem Equatorial do Rio Amazonas encontra argumentos contrários e favoráveis. As organizações que lutam por um ambiente mais sustentável e contra as mudanças climáticas apontam que a exploração contraria as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pactuadas no Acordo de Paris (2015). Ademais, indicam que a referida exploração traz violação à proteção ambiental da região, como matas nativas, mananciais de água e fauna, expondo o equilíbrio ecológico e a população nativa da floresta (Barbosa de La Cadena; Bertotti Júnior, 2024).

Por outro lado, como defesa à exploração, argumentos sugerem que a não exploração acarretará prejuízos à autossuficiência de petróleo pelo Brasil, além de indicarem que o mundo necessitará dos combustíveis por um bom tempo até a transição energética completa e que a exploração do petróleo, nesta região, trará desenvolvimento econômico, através da geração de empregos e aumento renda da população local (CNI, 2024).

Em meio a esse contexto, destaca-se a promessa do Brasil de neutralizar suas emissões de GEE até 2050, conforme o Acordo de Paris (2015), bem como seu comprometimento com a política de transição energética e a Agenda 2030, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Embora o desenvolvimento econômico e a geração de empregos sejam argumentos relevantes, é necessário refletir se a escolha não compromete as metas de neutralidade de carbono assumidas pelo Brasil e os esforços globais para mitigar as mudanças climáticas, reforçando a urgência de uma transição efetiva para energias renováveis.

Assim, a exploração de petróleo na Margem Equatorial parece contrariar a Política Nacional de Transição Energética e os ODS, especialmente no que diz respeito à coerência da extração de um combustível fóssil com as políticas de transição energética, à redução das emissões de gases de efeito estufa e à preservação ambiental.

No que toca a transição energética, definida como a transformação dos sistemas de produção e consumo de energia para fontes renováveis e de baixa emissão de carbono, essa ocupa uma posição central na agenda global, sobretudo diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (Viana; De Alencar Xavier, 2024).

A proteção ambiental está inserida no art. 225, caput, da Constituição Federal de 1988, que prescreve que *"todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações"*, apesar de não utiliza a expressão "desenvolvimento sustentável", estabelece o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, representando a essência do princípio da sustentabilidade. Trata-se de um princípio implícito.

Desde então, o Brasil vem adotando diversas medidas no panorama legislativo e administrativo buscando a transição energética. A Política Nacional de Transição Energética (PNTE), instituída por meio da Resolução 5/2024 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), cujo objetivo principal é reestruturar a matriz energética do país (Brasil, 2024). Através deste mesmo instrumento, foram criados o Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE); e o Fundo Nacional de Transição Energética (FONTE) (Brasil, 2024).

Recentemente, em outubro de 2024, foi sancionada a Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993) e buscando evitar a emissão de 705 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO2) até 2037, reforçando o compromisso do país com a redução de gases de efeito estufa (Planalto, 2024).

Já em 22 de janeiro de 2025, foi sancionada Lei nº 15.103, que institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), com o objetivo principal de *"fomentar o financiamento de projetos de desenvolvimento sustentável, especialmente aqueles relacionados a infraestrutura, a pesquisa tecnológica e a desenvolvimento de inovação tecnológica"* (Brasil, 2025).

O Projeto de Lei nº 327/2021, que ensejou o Paten, indicou na mensagem de justificativa que a transição energética para uma economia de baixo carbono é uma decisão política e estratégica, que requer planejamento e responsabilidade. Essa concepção, representa uma mudança comportamental, econômica, social e institucional, alinhada à sustentabilidade e às mudanças climáticas, possuindo o Brasil grande potencial em fontes renováveis, é essencial estruturar bases para converter esse potencial em riqueza e benefícios ambientais, acompanhando o movimento global em direção às energias renováveis, sem inércia diante das transformações em curso (Câmara dos Deputados, 2021).

O Brasil, ao avançar na redução das emissões de GEE, institui diversas medidas buscando a implementação da transição energética e a mitigação das mudanças climáticas. Tais medidas, sinalizam que o país pretende cumprir as agendas assumidas, através da ratificação de Acordos Internacionais, como o Acordo de Paris. Porém, para que sejam alcançadas as metas dispostas dos ODS, precisamos avançar na redução da utilização dos recursos fósseis, como veremos.

Compromisso com os ODS na Transição Energética

O século XXI foi inaugurado com o desafio do desenvolvimento sustentável. Países desenvolvidos e em desenvolvimento comprometeram-se a cooperar na redução das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, no ano 2000, os Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) reuniram-se e estabeleceram os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), definindo metas a serem alcançadas entre os anos de 2000 e 2015.

Após 12 anos, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, também conhecida como Rio+20, foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, e a discussão pairava sobre o desenvolvimento sustentável, elegendo mais nove objetivos à meta inicial. A Assembleia Geral das Nações Unidas (AGNU), em 2015 definiu metas mundiais em quatro principais dimensões: social, ambiental, econômica e institucional, os chamados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS – defendem que é necessário levar o mundo a um caminho sustentável com medidas transformadoras. Assim, passaram a ser definidos novos escopos, a serem atingidos até 2030, prevendo ações nas áreas de erradicação da pobreza, segurança alimentar, agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, entre outras temáticas.

Visando à erradicação da pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares, e à proteção do meio ambiente, os indicadores brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) enumeram metas voltadas à inclusão de todas as pessoas. Dentre esses objetivos, destacam-se: o Objetivo 7 – assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos; o Objetivo 13 – tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos; o Objetivo 14 – conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável; o Objetivo 15 – proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e frear a perda de biodiversidade; o Objetivo 16 – promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis; e, por fim, o Objetivo 17 – fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável, conforme o Pacto Global.

Especial relevância a análise deste artigo, são os objetivos 7 e 14, para que dentro de uma cultura de paz e harmonia, os Estados devem caminhar para uma reorganização, com a utilização de meios efetivos para perfazer a meta, garantido que esta e as futuras gerações possam usufruir e ter acesso ao meio ambiente equilibrado, baseado no Princípio do Desenvolvimento Sustentável, um dos preceitos basilares do Direito Ambiental, que possibilita a exploração econômica em consonância com a preservação ecossistêmica.

Os ODS refletem uma oportunidade de incentivo à pesquisa de sustentabilidade, pois apesar dos muitos avanços, estes não impediram a humanidade de exceder seus limites e recursos naturais. O cumprimento do ODS 7 – energia limpa e acessíve l-impacta tanto social quanto economicamente no desenvolvimento do país (De Souza, 2022). A meta 7.2 do ODS 7 é, até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global A matriz energética mundial atravessa um momento de transformação para se adaptar a essas novas regras, sobretudo no contexto das mudanças climáticas e das utilizações de fontes de energia renováveis (De Moura Silva, 2022).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica, *"a matriz elétrica brasileira é principalmente renovável, pois possui mais de 84% de capacidade de geração de energia de fontes limpas, ultrapassando a média mundial, que corresponde a 27%"* (Brasil, 2022).

Os ODS representam o suporte central da Agenda 2030, que orientam as ações nas dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável é uma locução verbal que se liga a dois conceitos. Assim, o conceito de sustentabilidade passa a qualificar ou caracterizar o desenvolvimento sustentável(IPEA, 2022). O antagonismo dos termos desenvolvimento e sustentabilidade aparece muitas vezes, e não pode ser escondido e nem objeto de silêncio por parte dos especialistas que atuem no exame de programas, planos e projetos de empreendimentos, como a exploração petrolífera da margem equatorial.

Desse modo, o Direito Internacional Ambiental tem como premissa a cooperação e a responsabilidade partilhada, composto de sistemas jurídicos nacionais e internacionais, com vários níveis de interação e aplicação restrita pelos tribunais internacionais ou internos, baseados sempre nos princípios, tais como: o desenvolvimento sustentável, o princípio da precaução, a equidade e a diversidade cultural. Como instrumento de proteção dos direitos fundamentais, o Direito Internacional traz em seu bojo, ferramentas que compõem a segurança jurídica, inclusive, da preservação da biodiversidade e da vida marinha.

Neste sentido, estando o Brasil comprometido com o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, através do Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017, visando a reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável. O compromisso ocorre no sentido de manter o

aumento da temperatura média global em bem menor que de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Considerando o comprometimento do Brasil com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e sua condição de signatário do Acordo de Paris, a exploração de petróleo na Margem Equatorial configura-se como um desafio, diante das divergências de interesses entre os principais atores envolvidos. Entretanto, é amplamente reconhecido que a redução efetiva das emissões de gases de efeito estufa exige, em última instância, a eliminação completa do uso de combustíveis fósseis.

Assim, abrir novas áreas para a extração de petróleo e gás e de expandir a extração em áreas existentes, está na contramão para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, o Ministro das Minas e Energia do país, tem como prioridade máxima a abertura de perfurações de petróleo no estuário do Rio Amazonas (Brown, 2023). Também está prevista a expansão da perfuração de petróleo *offshore* ao longo da costa das regiões Nordeste (CLIMAINFO, 2023) e Sudeste do Brasil (Mendes, 2023). O enorme projeto "Área Sedimentar do Solimões" para extração de petróleo e gás na metade ocidental do estado do Amazonas permanece nos planos (Fearnside, 2020). Todos estes planos vão contra a conclusão da Agência Internacional de Energia (IEA) de que nenhum novo campo de petróleo e gás deve ser aberto em qualquer parte o mundo, e aqueles que já estão em produção devem reduzir gradualmente a sua produção ao zero até 2050 (ENERGY SECTOR, 2022).

Assim, os recursos naturais e processos vivos tornaram-se matérias primas, a água e os alimentos se transformam em bens para obtenção de benefícios comerciais, a vida cresce à custa da vida do planeta e toda sua diversidade, vitalidade e capacidade de renovação. Sem limites éticos, ecológicos e sociais a essa comercialização, a vida se encontra no limite. Os aspectos ambientais muitas vezes são desatendidos nos processos de decisões, dando-se um peso muito maior aos aspectos econômicos. O crescimento harmônico não se dá com a desvalorização do meio ambiente ou da desconsideração de fatores que possibilitam o equilíbrio ambiental, assim que precisamos considerar estes aspectos na tomada de decisão sobre a exploração petrolífera da Margem Equatorial.

Considerações Finais

A exploração de petróleo na Margem Equatorial apresenta desafios que transcendem os aspectos econômicos, inserindo-se no debate mais amplo sobre a transição energética e os compromissos ambientais assumidos pelo Brasil. Embora a extração petrolífera possa proporcionar benefícios econômicos e sociais, tais como a geração de empregos e o incremento da arrecadação estatal, tais vantagens precisam ser ponderadas em face dos riscos ambientais e do impacto sobre as metas climáticas nacionais e internacionais.

O Brasil tem demonstrado avanços significativos no desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa, por meio de iniciativas como a Política Nacional de Transição Energética, o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) e a Lei do Combustível do Futuro. Essas medidas são essenciais para viabilizar uma economia de baixo carbono e alinhar o país às diretrizes da Agenda 2030 e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os ODS 7, 13, 14 e 15, que tratam da energia limpa, das mudanças climáticas, da preservação marinha e da biodiversidade terrestre.

Nesse contexto, faz-se necessária uma abordagem equilibrada que integre o desenvolvimento econômico à preservação ambiental, respeitando o Princípio do Desenvolvimento Sustentável. A harmonização entre esses interesses requer um planejamento estratégico que contemple soluções inovadoras e sustentáveis, como o fortalecimento das energias renováveis e a implantação de políticas que reduzam a dependência dos combustíveis fósseis.

Portanto, para que o Brasil se consolide como protagonista na transição energética global, é imprescindível que suas decisões estratégicas reflitam o compromisso com a descarbonização da economia e com a construção de um modelo de desenvolvimento que respeite os limites ecológicos do planeta, garantindo a qualidade de vida das presentes e futuras gerações.

Referências

BARBOSA DE LA CADENA, N.; BERTOTTI JÚNIOR, J. A. Exploração de Petróleo na Margem Equatorial da Foz do Rio Amazonas e Direitos Humanos: É possível conciliar?**. Homa Publica – Revista Internacional de Derechos Humanos y Empresas**, Juiz de Fora, Brasil, v. 8, n. 1, p. e:118, 2024. Disponível em: https://periodicos.ufjf.br/index.php/HOMA/article/view/44718. Acesso em: 24 jan. 2025.

BROWN, S. Mouth of the Amazon oil exploration clashes with Lula's climate promises. Mongabay, 2023. Disponível em: https://news.mongabay.com/2023/04/mouth-of-the-amazon-oil-exploration-clashes-with-lulas- climate-promises/. Acesso em: 24 jan. 2025.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. ANEEL reforça protagonismo do Brasil em fontes renováveis no Energyear 2022. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, [s. l.], 2022. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-reforcaprotagonismo-do-brasil-e m-fontes-renovaveis-no-energyear-2022. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRASIL**.** Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Estabelece diretrizes para a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e estocagem geológica de dióxido de carbono, e institui programas como o ProBioQAV, PNDV e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. *Diário Oficial da União*: seção 1,

Brasília, DF, 9 out. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: 1 fev. 2025.

CLIMAINFO. IBAMA emite licença para a Petrobras perfurar na Bacia Potiguar, na Margem Equatorial. *ClimaInfo*, 2023. Disponível em:

https://climainfo.org.br/2023/10/02/ibama-emite-licenca-para-petrobras-perfurar-na-bacia-poti guar-na-margem-equatorial/. Acesso em: 24 jan. 2025.

DE MOURA SILVA, K. J. *et al.* Agenda 2030 e os desafios para a garantia de acesso à energia limpa e renovável. *Meio Ambiente (Brasil)*, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 38-44, 2020. Disponível em: https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/44. Acesso em: 17 nov. 2022.

DE SOUZA, L. C. Energia e sustentabilidade humana: impacto das metas do ODS 7 no Brasil. *Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo*, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 58-79, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9628/2020.v6i1.6486. Disponível em: https://indexlaw.org/index.php/Socioambientalismo/article/view/6486/0. Acesso em: 22 out. 2022.

FIERN. Impactos da exploração petrolífera na Margem Equatorial é tema de palestra da CNI na Casa da Indústria. *Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte*, 2024. Disponível em: https://www.fiern.org.br/impactos-da-exploracao-petrolifera-na-margem-equatorial-e-tema-de-p alestra-da-cni-na-casa-da-industria/. Acesso em: 24 jan. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *IPEA*, [s. l.], 2018. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_nac_dos_o bj _de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em: 30 out. 2022.

MACHADO, Paulo Affonso Lemes. *Direito Ambiental Brasileiro*. 21. ed. São Paulo: Malheiros, 2013. p. 73-74.

MENDES, D. 11 novas plataformas serão instaladas no pré-sal até 2027, afirma a Petrobras. *CNN Brasil*, 2023. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/

economia/financas/11-novas-plataformas-serao-instaladas-no-pr e-sal-ate-2027-afirma-petrobras/. Acesso em: 24 jan. 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Nações Unidas Brasil*, 2023. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 16 ago. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. *Nações Unidas Brasil*, 2023. Disponível em:

https://brasil.un.org/pt-br/66851-os-objetivos-de-desenvolvimento-do-mil%C3%AAnio. Acesso em: 16 ago. 2023.

PACTO GLOBAL REDE BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). *Pacto Global Rede Brasil*, 2023. Disponível em: https://www.pactoglobal.org.br/ods. Acesso em: 16 ago. 2023.

PLANALTO. Presidente Lula sanciona Lei do Combustível do Futuro para promover a mobilidade sustentável. *Planalto*, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2024/10/presidente-lula-sa nciona-lei-do-combustivel-do-futuro-para-promover-a-mobilidade-sustentavel#:~:text=O%20Co mbust%C3%ADvel%20do%20Futuro%20prev%C3%AA,partir%20de%20mat%C3%A9rias%2 Dprimas%20renov%C3%A1veis. Acesso em: 24 jan. 2025.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia; DE ALENCAR XAVIER, Yanko Marcius. O estado do conhecimento da regulação dos minérios críticos para transição energética no Brasil. *Cadernos de Dereito Actual*, n. 25, p. 33-47, 2024.

WEB CÂMARA. Projeto de Lei 327/2021. *Câmara dos Deputados*, 2024. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1961871&filename= PL%20327/2021. Acesso em: 24 jan. 2025.

Desafios e Oportunidades na Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Rio Grande do Sul

Carine Cristina Serafim Matos[1], Taison Anderson Bortolin[2]
[1] *Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*
[2] *Fundação Estadual de Proteção Ambiental*

Resumo: As mudanças climáticas são um dos maiores desafios do século XXI, impulsionadas pelas emissões de Gases de Efeito Estufa associadas às atividades humanas. As legislações como a Lei Federal Nº 14.904/2024 e a Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas buscam alinhar o país a compromissos internacionais, promovendo práticas sustentáveis. Este estudo analisou legislações ambientais municipais, estaduais e federais, com foco no Rio Grande do Sul, comparando-o a outros estados para identificar diretrizes de mitigação de GEE e adaptação climática. Foram avaliadas normas sobre controle de emissões, monitoramento obrigatório dos escopos 1, 2 e 3, incentivos a tecnologias sustentáveis e integração da mitigação no licenciamento ambiental. O Rio Grande do Sul enfrenta dificuldades na implementação dessas diretrizes, especialmente no monitoramento dos escopos 2 e 3 e na criação de incentivos para tecnologias de baixo carbono. Enquanto estados como Paraná e Rio de Janeiro possuem regulamentações mais robustas, incluindo incentivos fiscais e parcerias público-privadas, o RS carece de mecanismos eficazes. Iniciativas como o Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas e o PROCLIMA2050 são relevantes, mas apresentam limitações, como ausência de metas claras. O setor agrícola, uma das principais fontes de emissões, também necessita de estratégias de mitigação. A falta de investimentos e incentivos dificulta o monitoramento eficaz das emissões de GEE no RS. A criação de um fundo estadual para subsidiar tecnologias de monitoramento e a capacitação técnica podem fortalecer a governança climática estadual. A análise comparativa evidenciou lacunas na legislação gaúcha e a necessidade de estratégias mais eficazes para a redução das emissões.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Instrumentos regulatórios ambientais. Política Pública Climática. Legislação ambiental. Mitigação climática.

Challenges and Opportunities in Greenhouse Gases Mitigation in Rio Grande do Sul

Abstract: Climate change is one of the greatest challenges of the 21st century, driven by Greenhouse Gases emissions associated with human activities. Legislations such as Federal Law No. 14.904/2024 and the Rio Grande do Sul Climate Change Policy aim to align the country with international com-

mitments, promoting sustainable practices. This study analyzed municipal, state, and federal environmental legislation, focusing on Rio Grande do Sul and comparing it to other states to identify GHG mitigation and climate adaptation guidelines. Regulations on emission control, mandatory monitoring of scopes 1, 2, and 3, incentives for sustainable technologies, and the integration of mitigation into environmental licensing were evaluated. Rio Grande do Sul faces challenges in implementing these guidelines, particularly in monitoring scopes 2 and 3 and creating incentives for low-carbon technologies. While states like Paraná and Rio de Janeiro have more robust regulations, including tax incentives and public-private partnerships, RS lacks effective mechanisms. Initiatives such as the Rio Grande do Sul Climate Change Forum and the PROCLIMA2050 Program are relevant but have limitations, such as the absence of clear targets. The agricultural sector, one of the main sources of emissions, also requires mitigation strategies. The lack of investments and incentives hinders effective GHG emission monitoring in RS. The creation of a state fund to subsidize monitoring technologies and technical training could strengthen climate governance in the state. The comparative analysis highlighted gaps in Rio Grande do Sul's legislation and the need for more effective strategies to reduce emissions.

Key words: Climate Change. Environmental Regulatory Instruments. Climate Public Policy. Environmental Legislation. Climate Mitigation.

Introdução

As mudanças climáticas, impulsionadas pela emissão excessiva de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes de atividades humanas, estão entre os desafios mais críticos do século XXI. O aumento da temperatura global, a elevação do nível do mar e a maior frequência de eventos climáticos extremos, como secas, enchentes e tempestades, têm forçado governos em todo o mundo a tomar medidas para mitigar e se adaptar aos impactos climáticos (MOREIRA, 2021). A legislação ambiental é uma das ferramentas principais para responder a esses desafios, orientando práticas de desenvolvimento econômico sustentável e promovendo a transição para uma economia de baixo carbono (MOREIRA, 2021).

No Brasil, a legislação climática federal, representada principalmente pela Lei Federal Nº 14.904/2024, procura alinhar o país aos compromissos internacionais, como o Acordo de Paris, de limitar o aquecimento global a menos de 2°C. O **Acordo de Paris**, adotado em 2015, representa um marco no direito ambiental internacional, pois estabelece metas para conter o aumento da temperatura global e promover a transição para uma economia de baixo carbono, tendo como base a cooperação entre os Estados e o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas (SCOVAZZI, 2021).

No entanto, a responsabilidade de implementar políticas detalhadas de mitigação de GEE recai, em grande parte, sobre os estados e municípios, que possuem realidades socioeconômicas e ambientais distintas. Neste contexto, o Rio Grande do Sul, por meio da Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas (Lei Nº 13.594/2010), adota algumas diretrizes para reduzir suas emissões e adaptar-se às mudanças climáticas, mas ainda enfrenta desafios significativos na incorporação prática e monitoramento das emissões de GEE. Apesar dos avanços em marcos regulatórios e iniciativas isoladas, ainda é incipiente a articulação entre políticas municipais e estaduais para mitigação de GEE no Rio Grande do Sul, revelando uma lacuna que este estudo se propõe a explorar.

Outros estados brasileiros, como o Rio de Janeiro e o Paraná, têm adotado abordagens mais robustas para enfrentar as mudanças climáticas, incluindo regulamentações específicas para o monitoramento de GEE em escopos distintos e incentivos para a adoção de tecnologias de baixo carbono. A experiência desses estados pode servir como base para a melhoria das políticas no Rio Grande do Sul, oferecendo exemplos de como aprimorar a governança climática local. A presente pesquisa, portanto, busca analisar as normativas ambientais do Rio Grande do Sul e compará-las com as políticas de outros estados, destacando oportunidades de adaptação e implementação de práticas de baixo carbono que possam fortalecer as políticas ambientais gaúchas.

Metodologia

Este estudo se baseou em uma metodologia de análise documental e comparativa de legislações ambientais municipais, estaduais e federais no Brasil, visando identificar diretrizes e práticas relacionadas à mitigação de GEE e à adaptação climática, alinhado diretamente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) da Agenda 2030. Foram analisados documentos que regulamentam o controle de emissões e mudanças climáticas no Brasil, focando-se nas legislações do Rio Grande do Sul e de estados brasileiros com práticas relevantes para a mitigação de GEE, tais como o Rio de Janeiro e o Paraná. Cada legislação selecionada foi revisada para identificar as diretrizes específicas voltadas para a mitigação de emissões e o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono.

Buscou-se entender como cada estado aborda a obrigatoriedade de monitoramento de emissões diretas (escopo 1) e indiretas (escopos 2 e

3), a aplicação de incentivos para tecnologias sustentáveis, e a integração de práticas de mitigação climática nos processos de licenciamento ambiental.

As emissões de escopo 1 são diretas e originadas de fontes pertencentes à empresa, como o uso de combustíveis, maquinário próprio e sistemas de refrigeração durante a instalação, operação ou desativação de um projeto. Já as emissões indiretas dividem-se em escopo 2, relacionado ao consumo de energia adquirida, e escopo 3, que abrange emissões de fontes externas, como transporte terceirizado, disposição de resíduos e etapas anteriores ou posteriores ao ciclo de vida dos produtos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS MEMBROS DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE MEIO AMBIENTE, 2021, p. 10).

Esclarece-se que a diferenciação dos escopos é fundamental na elaboração de inventários de emissões, especialmente pelo GHG Protocol, que torna opcional o relato de escopo 3. Essa flexibilização pode levar à omissão de emissões relevantes no licenciamento ambiental, apesar da recomendação de incluí-las quando representarem uma parcela significativa. A opção por facultar o escopo 3 também visa evitar a duplicidade no registro de emissões, como no caso do transporte terceirizado, que pode ser contabilizado tanto pelo contratante (escopo 3) quanto pela transportadora (escopo 1) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS MEMBROS DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE MEIO AMBIENTE, 2021, p. 10)

Resultados e Discussão

Os resultados desta pesquisa fornecem uma análise sobre as práticas de governança climática no Rio Grande do Sul e destacam exemplos de outras regiões brasileiras que implementaram abordagens mais robustas para a mitigação de GEE e a adaptação às mudanças climáticas. Esta seção analisa os principais pontos em que a legislação ambiental do Rio Grande do Sul pode evoluir, além de identificar práticas exemplares de outros estados, discutindo o impacto potencial dessas políticas caso fossem adotadas localmente.

Criado pelo Decreto Nº 45.098/2007, o Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas foi estabelecido como uma plataforma de diálogo e articulação entre o governo e a sociedade civil. Embora o fórum represente um avanço ao promover a participação de diversos setores na discussão de políticas climáticas, sua atuação prática permanece

limitada em função da falta de diretrizes claras. O fórum promove seminários e discussões sobre temas climáticos, mas ainda carece de força regulatória para implementar mudanças concretas, atuando mais como um fórum consultivo do que como um mecanismo de governança climática.

A Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas, formalizada pela Lei Nº 13.594 de 2010, estabelece diretrizes gerais para a mitigação e adaptação climática no Rio Grande do Sul. Embora represente um avanço ao formalizar o compromisso do estado com as políticas climáticas, a implementação prática dessa legislação ainda enfrenta desafios significativos. A análise dos documentos revela que a lei é ampla em seus objetivos, mas carece de regulamentações detalhadas que facilitem sua aplicação. Não há especificidade suficiente, por exemplo, quanto às exigências para o setor privado, e poucos incentivos para adoção de práticas sustentáveis foram formalizados.

O Decreto Nº 50.590/2013 busca promover a transição para uma agricultura de baixo carbono no Rio Grande do Sul, reconhecendo o impacto significativo do setor agrícola nas emissões de GEE do estado. Esse decreto incentiva práticas de manejo sustentável e uso de tecnologias de baixa emissão, mas enfrenta limitações na ausência de incentivos financeiros ou regulamentações que orientem os agricultores na adoção dessas práticas.

Em contraste, outros estados, como o Paraná, já implementaram incentivos fiscais e programas de financiamento para facilitar a transição para uma agricultura sustentável. No Paraná, o Programa Integrado de Conservação do Solo e Água incentiva práticas agrícolas de baixo carbono, fornecendo suporte técnico e subsídios para produtores. Esses incentivos têm se mostrado eficazes para promover práticas sustentáveis, destacando-se como um potencial referência para a ampliação do decreto gaúcho.

A Diretriz Técnica FEPAM 01/2018 exige que empreendimentos potencialmente poluidores apresentem relatórios de emissões diretas (escopo 1) como parte do processo de licenciamento ambiental. No entanto, o foco exclusivo no escopo 1 representa uma limitação, já que muitos dos impactos climáticos indiretos permanecem sem monitoramento. Em setores como o transporte e a indústria, grande parte das emissões advém de fontes indiretas, incluindo o uso de eletricidade

(escopo 2) e as atividades ao longo da cadeia de suprimentos (escopo 3).

O estado do Paraná, com a Portaria IAT Nº 42/2022, expandiu seu monitoramento para incluir os escopos 2 e 3, permitindo uma análise mais abrangente e precisa dos impactos ambientais. Esse avanço oferece um exemplo concreto de como o Rio Grande do Sul poderia evoluir sua política climática ao adotar uma visão holística das emissões de GEE, promovendo uma governança climática mais robusta e transparente.

No contexto das mudanças climáticas, o escopo 3 tem se tornado cada vez mais relevante, uma vez que permite o monitoramento das emissões de GEE associadas à cadeia de valor de uma organização. Empresas que adotam o monitoramento do escopo 3 podem identificar oportunidades de mitigação de emissões em pontos específicos da cadeia, como no transporte e na produção de insumos. A inclusão de práticas de monitoramento do escopo 3 no Rio Grande do Sul poderia gerar dados valiosos para a formulação de políticas setoriais mais direcionadas e eficazes.

O estado do Rio de Janeiro, por meio do Decreto Nº 46.912/2020, implementou políticas avançadas para incentivar a adoção de tecnologias de baixo carbono. O decreto estabelece incentivos fiscais para empresas que investem em projetos sustentáveis e promove a criação de programas de apoio para o desenvolvimento de tecnologias verdes. Essa abordagem tem se mostrado eficaz ao engajar o setor privado na mitigação climática, criando um ambiente favorável para a inovação e a sustentabilidade.

A experiência do Rio de Janeiro sugere que o desenvolvimento de incentivos financeiros e fiscais é essencial para motivar a adesão do setor privado às políticas climáticas. No Rio Grande do Sul, a criação de incentivos fiscais semelhantes poderia incentivar empresas a adotarem práticas de baixo carbono, especialmente nos setores industrial e agrícola, que representam uma parcela significativa das emissões de GEE do estado.

O Programa PROCLIMA2050 é uma das principais iniciativas do Rio Grande do Sul para enfrentar os impactos das mudanças climáticas, atuando como um ponto estratégico para a promoção de políticas de mitigação de GEE. No entanto, o programa ainda enfrenta desafios em sua implementação prática, principalmente devido à ausência de

regulamentações específicas que definam metas claras de redução de emissões para os diversos setores da economia estadual.

Uma estratégia promissora para fortalecer o PROCLIMA2050 é a criação de parcerias público-privadas (PPPs), que podem proporcionar suporte financeiro e técnico para projetos de mitigação de GEE. PPPs já se mostraram eficazes em outros estados, como no Programa Carbono Neutro Paraná, em que o governo e empresas do setor privado trabalham juntos para promover a neutralidade de carbono por meio de projetos de reflorestamento e eficiência energética. No Rio Grande do Sul, PPPs podem apoiar projetos de energia renovável, manejo de resíduos e tecnologias de monitoramento de emissões, ajudando a alcançar as metas climáticas estaduais.

O Programa ProClima2050 poderia ser aprimorado com a adoção de metas anuais de redução de GEE, acompanhadas por indicadores de desempenho e um sistema de monitoramento contínuo. A experiência de São Paulo, com seu Programa Estadual de Mudanças Climáticas, demonstra a relevância de metas concretas e mecanismos de monitoramento para garantir a efetividade das diretrizes climáticas. A implementação de um modelo semelhante no Rio Grande do Sul permitiria avaliar melhor os progressos e definir áreas prioritárias para intervenção. Um avanço nesse sentido foi a publicação da Instrução Normativa SEMA nº 04/2023, que estabelece procedimentos para o cadastramento da Comissão Municipal sobre Mudanças Climáticas nos municípios gaúchos, promovendo maior integração entre Estado e municípios. A normativa exige a criação e registro das comissões, a designação de membros e o cumprimento dos prazos estipulados pelo Decreto nº 56.939/2023, além de permitir a edição de normas complementares para a implementação eficaz das ações.

Segundo Ferraz (2024) "O Acordo de Paris (2016), que substitui o Protocolo de Kyoto desde 2020, exigiu dos países signatários a elaboração de um documento denominado "Contribuições Determinadas em Nível Nacional" (NDC), contendo seus planos de ação para reduzir as emissões de gases do efeito estufa." O compromisso brasileiro com a redução de GEE avançou significativamente, especialmente com o recente aumento da meta nacional de corte para 48% até 2025 e 53% até 2030, em relação aos níveis de 2005.

Este compromisso foi anunciado na 78ª Assembleia Geral da ONU, com o objetivo de elevar a contribuição do Brasil no combate

às mudanças climáticas. Este movimento faz parte da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do país, reforçada pelo Plano Nacional de Adaptação e Mitigação, que visa reduzir as emissões de setores-chave como energia, transporte e agropecuária. Em particular, o Brasil apresenta uma dinâmica singular nas emissões de GEE, predominantemente oriundas de atividades como o desmatamento, a agropecuária e, em menor grau, o setor energético. A gestão do desmatamento na Amazônia é um ponto central para a redução das emissões brasileiras, com iniciativas de fiscalização que já demonstraram uma redução de aproximadamente 50% em 2023, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Segundo o Observatório ABC (2019), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) implementou, em 2010, o Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para uma Economia de Baixo Carbono na Agricultura (Plano ABC), composto por sete programas focados em tecnologias de mitigação, dos quais um inclui ações voltadas à adaptação às mudanças climáticas. Em 2015, o plano foi alinhado ao Acordo de Paris e à Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil, que estabeleceu compromissos deredução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Em alinhamento, diversos estados e municípios têm elaborado políticas próprias de descarbonização. Dezoito entes federados brasileiros já incluem a variável climática em suas normas de licenciamento ambiental, mas poucos estabelecem critérios claros para a avaliação de impactos climáticos, medidas de mitigação e compensação, bem como alternativas menos impactantes (MOREIRA, 2021).

Para aprofundar a análise comparativa da governança climática no Rio Grande do Sul em relação a outros estados brasileiros, as principais legislações relacionadas à mitigação de gases de efeito estufa (GEE) e à adaptação climática constam no **Quadro 1**, que destaca as diferenças e semelhanças entre as políticas estaduais, o estado de referência de cada legislação e propõe melhorias estratégicas para fortalecer a governança climática no Rio Grande do Sul.

Quadro 1 – Análise comparativa da legislação climática de alguns estados brasileiros

Legislação	Diferenças e Semelhanças	Estado ou Município de Referência	Apontamento Crítico
Lei Nº 13.594/2010 (Política Gaúcha de Mudanças Climáticas)	Diretrizes gerais para mitigação e adaptação climática; carece de regulamentações detalhadas e metas específicas.	Rio Grande do Sul	Estabelecer metas anuais claras de redução de GEE e criar mecanismos de monitoramento e incentivo ao setor privado.
Decreto Nº 45.098/2007 (Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas)	Plataforma consultiva; atuação limitada pela falta de força regulatória e diretrizes claras.	Rio Grande do Sul	Fortalecer o fórum com poderes regulatórios e integrar metas específicas alinhadas às diretrizes climáticas nacionais.
Decreto Nº 50.590/2013 (Agricultura de Baixo Carbono)	Reconhece o impacto do setor agrícola; enfrenta limitações devido à ausência de incentivos financeiros e regulamentações específicas.	Rio Grande do Sul	Implementar incentivos fiscais e programas de financiamento para práticas agrícolas sustentáveis.
Diretriz Técnica FEPAM 01/2018	Exige monitoramento de emissões diretas (escopo 1), mas não aborda emissões indiretas (escopos 2 e 3).	Rio Grande do Sul	Ampliar a exigência de monitoramento para incluir escopos 2 e 3, tornando a política climática mais abrangente.

Portaria IAT Nº 42/2022 (Monitoramento Climático)	Abrange emissões dos escopos 2 e 3; permite análise mais completa das emissões de GEE.	Paraná	Adotar modelo semelhante no RS, com monitoramento integrado e relatórios anuais.
Decreto Nº 46.912/2020	Promove incentivos fiscais e desenvolvimento de tecnologias verdes; engaja o setor privado.	Rio de Janeiro	Implementar incentivos fiscais no RS para tecnologias sustentáveis, especialmente nos setores agrícola e industrial.
Política Municipal de Mudanças Climáticas (Niterói)	Estabelece metas ambiciosas de redução e neutralização de emissões até 2040; inclui inventários locais de GEE.	Niterói	Replicar no RS, incentivando municípios a adotarem políticas de descarbonização locais e inventários regionais.
Plano de Descarbonização e Neutralização	Direcionado à sustentabilidade estadual destaca a necessidade de metas específicas para setores estratégicos.	Espírito Santo	Desenvolver no RS planos setoriais integrados com metas claras e ações adaptadas às características regionais.

Fonte: Adaptado de legislações estaduais e municipais sobre mudanças climáticas.

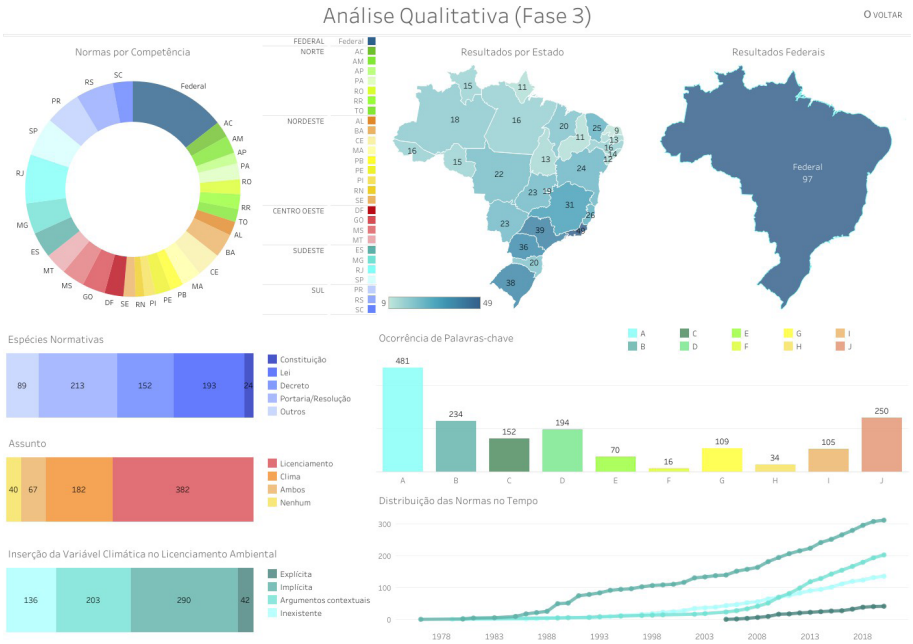
No Espírito Santo, o Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE é um exemplo de esforço subnacional para atingir metas estaduais de sustentabilidade. No âmbito municipal, a cidade de Niterói criou a sua Política Municipal de Mudanças Climáticas e o Sistema de Inventários de Emissões, estabelecendo metas ambiciosas de redução e neutralização até 2040. Adicionalmente, cidades como São Paulo e Florianópolis também implementaram leis e planos que buscam a mitigação de emissões e incentivam o desenvolvimento sustentável.

Esta descentralização das políticas climáticas é essencial para que os objetivos nacionais sejam atingidos, visto que as emissões são distribuídas e influenciadas pelas características econômicas e demográficas locais.

Os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) evidenciam como a descentralização de estratégias de mitigação em municípios e estados permite a criação de soluções específicas, tais como os inventários locais de emissão de GEE e o oferecimento de práticas de baixo carbono adaptadas para a realidade econômica e social de cada região (SEEG, 2025). Esta abordagem colabora com o objetivo nacional de atingir a neutralidade de carbono até 2050 e está em sintonia com as metas europeias, onde o regulamento "Partilha de Esforços" estabelece objetivos anuais vinculativos para países membros reduzirem suas emissões nos setores de transporte, agricultura, resíduos e construção. As diretrizes europeias visam zerar as emissões de carbono até 2050, e o compromisso mútuo entre Brasil e União Europeia enfatiza a importância da cooperação global para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Nesse contexto, a estruturação de um arcabouço normativo eficaz torna-se essencial para garantir que as estratégias descentralizadas sejam aplicadas de forma coordenada e alinhada às diretrizes nacionais e internacionais. Moreira (2021) estruturou em sua pesquisa o levantamento normativo da legislação brasileira em três fases distintas, evidenciando a amplitude do arcabouço legal disponível para regulamentar políticas climáticas. Na primeira etapa, realizou-se um levantamento quantitativo com base em palavras-chave, identificando um total de 7.553 normas, incluindo sobreposições, das quais 2.011 eram federais e 5.542 estaduais e do Distrito Federal. Na segunda fase, aplicou-se um filtro quali-quantitativo para eliminar sobreposições e normas irrelevantes à pesquisa, resultando em 1.406 normas consideradas pertinentes. Por fim, na terceira fase, selecionaram-se as normas mais relevantes, que passaram por uma análise detalhada de seu conteúdo integral, com a identificação de trechos significativos e a classificação dos resultados obtidos, reduzindo o conjunto final para 671 normas, sendo 97 federais e 574 estaduais e do Distrito Federal.

Figura 1 – Análise da legislação brasileira sobre a variável climática no licenciamento ambiental.



Fonte: JUMA, 2021.

A estruturação de políticas setoriais no Brasil, como a Estratégia Nacional de Adaptação, estabelece planos para áreas como agricultura, recursos hídricos e saúde, e é fundamental para a resiliência de regiões vulneráveis a eventos climáticos extremos. A integração de tecnologias e práticas de manejo sustentável é um ponto crítico na agropecuária, que representa a segunda maior fonte de emissões no Brasil. Iniciativas de uso de biogás e biofertilizantes, manejo adequado de pastagens e agricultura regenerativa são algumas das medidas adotadas para minimizar a pegada de carbono do setor, além de diminuir a vulnerabilidade das plantações e do gado às condições climáticas adversas.

A análise comparativa das legislações ambientais do Rio Grande do Sul com outros estados brasileiros demonstra a necessidade de aprimoramento na governança climática gaúcha. Embora iniciativas como a Diretriz Técnica FEPAM 01/2018 representem um avanço importante, elas se restringem ao monitoramento de emissões diretas (escopo 1).

O fato de não incluir emissões indiretas, como o consumo de energia e as emissões ao longo da cadeia de valor, limita a capacidade do

estado em identificar e mitigar o impacto climático total das atividades econômicas.

A inclusão de escopos adicionais, como os escopos 2 e 3 observados no Paraná, poderia representar um avanço significativo. Esses escopos permitem o monitoramento de emissões indiretas, como o consumo de energia elétrica (escopo 2) e as emissões ao longo da cadeia de valor, como transporte e descarte de produtos (escopo 3). A adoção dessas práticas no Rio Grande do Sul poderia oferecer um quadro mais abrangente para a formulação de políticas de baixo carbono e tornar as atividades econômicas mais transparentes em termos de impacto climático.

Além disso, a experiência do Rio de Janeiro com incentivos fiscais para tecnologias de baixo carbono apresenta uma abordagem inovadora para promover práticas de mitigação de GEE. No Rio Grande do Sul, tais incentivos poderiam beneficiar setores estratégicos, como a agricultura e a indústria, facilitando o desenvolvimento de parcerias público-privadas voltadas à sustentabilidade.

A criação de programas de capacitação para gestores públicos e privados também seria uma adição significativa, permitindo uma aplicação mais eficaz das políticas ambientais e um melhor entendimento das regulamentações e tecnologias disponíveis para o monitoramento de GEE. Este tipo de iniciativa poderia aumentar o engajamento do setor privado, promover a inovação e facilitar a transição para práticas empresariais mais sustentáveis.

Conclusão

O monitoramento eficaz das emissões de GEE é fundamental para a formulação de políticas climáticas baseadas em dados. No entanto, muitos dos empreendimentos no Rio Grande do Sul enfrentam desafios técnicos e financeiros para implementar tecnologias de monitoramento. A falta de investimentos e incentivos direcionados para a aquisição de equipamentos de monitoramento limita a capacidade das empresas de coletar dados precisos sobre suas emissões, prejudicando a eficácia das políticas de mitigação climática. Uma solução potencial é a criação de um fundo estadual de apoio ao monitoramento de emissões, financiado pelo governo e por parcerias privadas. Este fundo poderia subsidiar tecnologias de monitoramento para pequenos e médios empreendimentos,

ajudando-os a aderir às exigências regulatórias e contribuindo para um banco de dados estadual de emissões de GEE.

Além do suporte financeiro, a capacitação técnica é essencial para garantir que os profissionais estejam aptos a operar e interpretar os dados de monitoramento. Programas de capacitação, realizados em colaboração com universidades e institutos técnicos, poderiam melhorar a qualificação dos gestores e operadores do setor industrial e agrícola, fortalecendo a coleta de dados sobre emissões e facilitando a implementação de estratégias de mitigação. A análise comparativa revelou lacunas na legislação do Rio Grande do Sul e apontou oportunidades de aprimoramento com base em práticas já consolidadas em outros estados. A interpretação dos dados destacou tanto as ações já implementadas quanto as limitações das normativas estaduais, evidenciando a necessidade de uma governança climática mais abrangente e eficiente. Como perspectivas futuras deste trabalho, propõe-se o aprofundamento das legislações nos diferentes escopos por meio de diagnósticos municipais, além do aprofundamento da análise de políticas públicas climáticas com foco na identificação de oportunidades e lacunas nos planos de redução de GEE, bem como nas metodologias utilizadas para o levantamento de dados em inventários de emissões.

Agradecimentos

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa, à Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) pelo suporte institucional e ao orientador Taison Anderson Bortolin pela orientação e dedicação fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS MEMBROS DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE MEIO AMBIENTE. **Proposta de abordagem das mudanças do clima no licenciamento ambiental**. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/LICENCIAMENTO/Proposta%20de%20Abordagem%20das%20Mudan%C3%A7as%20do%20Clima%20no%20Licenciamento%20Ambiental%20-%20ABRAMPA.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

FERRAZ, Beatriz Biaggi; COOKE, Lina Braga Santin. TRIBUTAÇÃO DOS CRÉDITOS DE CARBONO. **Revista de Ciências Jurídicas e Sociais da UNIPAR**, *[S. l.]*, v. 27, n. 1, p. 217–232, 2024. DOI: 10.25110/rcjs.v27i1.2024-11180. Disponível em: https://unipar.openjournalsolutions.com.br/index.php/juridica/article/view/11180. Acesso em: 8 jan. 2025.

GAIO, Alexandre; ROSNER, Raquel Frazão; FERREIRA, Vivian M. **O licenciamento ambiental como instrumento da política climática.** Revista Direito e Práxis, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 594-620, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2179
-8966/2023/73126. Acesso em: 12 fev. 2025.

JUMA. **Litigância climática no Brasil: argumentos jurídicos para a inserção da variável climática no licenciamento ambiental**. 2021. Imagem. Disponível em: https://public.tableau.com/app/profile/stela.andreatta/viz/LITIGNCIACLIMTICANOBRASILARGUMENTOSJURDICOSPARAAINSERODAVARIVELCLIMTICANOLICENCIAMENTOAMBIENTA L/CAPA. Acesso em: 12 fev. 2025.

MOREIRA, Danielle de Andrade (org.). **Litigância Climática no Brasil: argumentos jurídicos para a inserção da variável climática no licenciamento ambiental.** Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2021. https://www.editora.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=956&sid=3

OBSERVATÓRIO ABC. **Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma.** Fundação Getulio Vargas – FGV Agro, 2019. Disponível em: https://www.observatorioabc.com.br. Acesso em: 12 fev. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Ofício GAB/SEMA nº 0374/2023, de 12 de abril de 2023. Orientações para cadastro das Comissões Municipais Sobre Mudanças Climáticas na Sema – Programa ProClima2050. Porto Alegre, 2023. Disponível em: https://www.proclima2050.rs.gov.br/upload/arquivos/202304/13111721-of-374.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

SCOVAZZI, Tullio. Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris. *Revista da Faculdade de Direito da UFMG*, Belo Horizonte, n. 78, p. 469-476, jan./jun. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.12818/P.0304-2340.2021v78p469. Acesso em: 12 fev. 2025.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. 2025. Disponível em: https://seeg.eco.br/. Acesso em: 8 jan. 2025.

Auditorias Ambientais e Climáticas e o Papel do INTOSAI

Giovani Spinelli de Almeida[1], Jordana Isse [2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (gsalmeida10@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (jisse@ucs.br)*

Resumo: O enfrentamento das mudanças climáticas exige uma abordagem estruturada e mecanismos eficazes de controle e fiscalização das políticas públicas. Nesse contexto, a auditoria climática desempenha um papel essencial na garantia da transparência, conformidade e efetividade das ações governamentais voltadas à mitigação e adaptação climática. Este artigo analisa a relevância da auditoria climática no Brasil, com ênfase na atuação do Tribunal de Contas da União (TCU) e na influência da Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INTOSAI). A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e descritiva, baseada na revisão bibliográfica e na análise documental de normativas, relatórios e diretrizes emitidas pelos órgãos de controle. O estudo destaca iniciativas como a Tomada de Contas Especial nº 021.701/2023-7 e o "Climate Scanner", que reforçam a governança ambiental e o monitoramento das políticas climáticas no país. A partir dos resultados, conclui-se que as auditorias climáticas representam um instrumento estratégico para fortalecer a accountability e alinhar as ações governamentais aos compromissos internacionais, como o Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras-chave: Climate Scanner; Mudanças climáticas; Governança ambiental.

Environmental and Climate Audits and the Role of INTOSAI

Abstract: The confrontation of climate change requires a structured approach and effective mechanisms for controlling and overseeing public policies. In this context, climate auditing plays an essential role in ensuring transparency, compliance, and effectiveness of government actions aimed at climate mitigation and adaptation. This article analyzes the relevance of climate auditing in Brazil, with an emphasis on the actions of the Federal Court of Accounts (TCU) and the influence of the International Organization of Supreme Audit Institutions (INTOSAI). The research adopts a qualitative and descriptive approach, based on bibliographic review and document analysis of regulations, reports, and guidelines issued by oversight bodies. The study highlights initiatives such as Special Accounting Number 021.701/2023-7 and the "Climate Scanner," which reinforce environmental governance and the monitoring of climate policies in the country. Based on the results, it is concluded that climate audits represent a strategic tool to strengthen accountability and align government

actions with international commitments, such as the Paris Agreement and the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Climate Scanner; Climate change; Environmental governance.

Introdução

O enfrentamento das mudanças climáticas é um desafio global que requer um esforço coordenado e eficaz por parte das instituições públicas e privadas em todo o mundo. Nesse contexto, a auditoria climática emerge como uma ferramenta essencial para garantir a eficácia e a conformidade das políticas e ações governamentais destinadas a mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade ambiental.

A Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INTOSAI), fundada em 1953, desempenha um papel crucial na promoção de boas práticas de auditoria no setor público. Composta por 195 membros de pleno direito, a INTOSAI busca apoiar a transparência, a boa governança e a eficácia dos programas governamentais por meio do desenvolvimento de diretrizes e normas para auditoria. A INTOSAI não apenas estabelece padrões globais para auditoria, mas também facilita o intercâmbio de conhecimentos e melhores práticas entre suas entidades membros.

A estrutura organizacional da INTOSAI inclui o Congresso Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INCOSAI), o Conselho Diretivo e o Secretariado-Geral, além de diversos comitês e grupos de trabalho dedicados a áreas específicas, como auditoria ambiental. Dentre essas iniciativas, destaca-se o Grupo de Trabalho de Auditoria Ambiental (WGEA), que lidera esforços para integrar considerações ambientais nas auditorias públicas e promover a conscientização sobre a importância da sustentabilidade.

No Brasil, o Tribunal de Contas da União (TCU) exerce um papel significativo no controle externo das finanças públicas e na promoção da accountability. Em linha com as diretrizes da INTOSAI, o TCU tem se empenhado em desenvolver e aplicar auditorias climáticas, com o objetivo de avaliar a conformidade e a eficácia das políticas e ações relacionadas às mudanças climáticas. A recente iniciativa do "Climate Scanner", liderada pelo TCU em parceria com a INTOSAI, exemplifica o compromisso do Brasil com a inovação na auditoria climática. Esta

ferramenta visa avaliar em tempo real as informações sobre políticas climáticas e fornecer suporte para a tomada de decisões governamentais.

Por meio de iniciativas como a Tomada de Contas Especial nº 021.701/2023-7 e o "Climate Scanner", o TCU busca aprimorar o monitoramento das políticas climáticas e assegurar que as ações governamentais atendam aos compromissos assumidos pelo país, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU.

Este artigo explora a relevância e a implementação da auditoria climática no Brasil, com ênfase nas iniciativas do Tribunal de Contas da União e no papel da INTOSAI. A análise das práticas e diretrizes estabelecidas visa contribuir para a compreensão do impacto das auditorias climáticas na promoção de políticas públicas eficazes e na mitigação das mudanças climáticas.

INTOSAI

A INTOSAI é a Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores. Ela foi fundada em 1953, em Havana, Cuba, durante o primeiro Congresso de Entidades Fiscalizadoras. A Organização conta, hoje, com 195 membros de pleno direito, 5 membros associados e 2 membros afiliados. A sede da INTOSAI é em Viena, na Áustria. A missão institucional da INTOSAI é apoiar seus membros na contribuição para a prestação de contas no setor público de forma eficaz, com promoção da transparência pública, a boa governança, fomentando a economia e a eficácia dos programas governamentais.

Os principais objetivos da Organização é apoiar o desenvolvimento de capacidades, desenvolver diretrizes e normas e promover o intercâmbio entre os membros e melhorar as auditorias governamentais, focado na auditoria do setor público. O requisito para ingresso como membro da INTOSAI é que a entidade superior de fiscalização faça parte de um Estado membro da ONU (Organização das Nações Unidas) ou de suas agências especializadas.

Nesse sentido, o Brasil, por meio do Tribunal de Contas da União é membro da INTOSAI, atuando na Presidência no mandato de 2022 a 2025.

Ademais, Entidades Fiscalizadoras de Organizações Supranacionais, sujeitas de direito no âmbito internacional, que são dotadas de status

legal e grau de integração econômica, técnica, organizacional ou financeira, de igual forma podem fazer parte da INTOSAI, é o caso do Tribunal de Contas Europeu, que representa a União Europeia.

Auditorias ambientais e climáticas

Tribunal da Contas da União e o controle externo

O Tribunal de Contas da União possui previsão constitucional. Especificamente, o artigo 71 da Constituição Federal prescreve que compete ao Tribunal de Contas da União auxiliar o Congresso Nacional no controle externo.

O órgão é responsável pela fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União e das Entidades da Administração Direta e Indireta, quanto à legalidade, legitimidade, economicidade, aplicação das subvenções e renúncia de receitas.

A Lei nº 8.443/1992 dispõe sobre a Lei Orgânica do TCU e regulamenta as atividades do órgão, detalhando as competências, como a realização de auditorias e inspeções, julgamento das contas dos administradores públicos e a possibilidade de aplicar sanções aos responsáveis por irregularidades.

Nesse passo, o TCU realiza a importante tarefa de realizar o controle externo, definido por Celso Antônio Bandeira de Mello (2014, p. 30) com o consistente na *"atividade exercida no cumprimento do dever de alcançar o interesse público, mediante o uso dos poderes instrumentalmente necessários conferidos pela ordem jurídica".*

Com efeito, o controle externo é um conjunto de ações de fiscalização realizadas por uma estrutura organizacional independente, com procedimentos e recursos próprios, destinado a verificar e corrigir atos da administração pública, assegurando sua conformidade com as normas legais (Fernandes, 2016).

Assim, o sistema de controle externo exercido pelo Tribunal de Contas da União atua, na linha das diretrizes da INTOSAI, em auditorias financeiras, de conformidade e de desempenho.

Nesse aspecto, no âmbito das auditorias climáticas, o Tribunal de Contas da União instaurou expediente específico visando avaliar os arranjos institucionais e mecanismos de governança para o enfrentamento da crise decorrente das mudanças climáticas.

Auditorias ambientais e climáticas

A auditoria ambiental não difere significativamente de outras auditorias (Leeuwn, 2014), devendo ser analisado o aspecto do desempenho, da eficiência, da efetividade e também sob a perspectiva ambiental.

Contudo, Leeuwen (2014, p. 165) explicita que

> Se nenhuma política ambiental tiver sido formulada, não há nada para auditar. As Entidades Superiores de Auditoria não são institutos definidores de políticas, elas derivam de critérios de auditoria de documentos de políticas de governo, como notas políticas, leis e regulamentos, acordos internacionais ratificados por seu país ou quaisquer outros documentos governamentais formais.

Ademais, a mesma pesquisadora e auditora do Tribunal de Contas dos Países Baixos destaca que (2014, p. 166):

> Outra característica da política ambiental é que muitos atores estão envolvidos. A política ambiental não é apenas responsabilidade do governo nacional, mas frequentemente também de governos locais, regionais ou provinciais, bem como de outras entidades públicas e privadas. Isso pode melhorar o apoio às medidas ambientais, mas ao mesmo tempo torna mais complexo alcançar resultados

Taís Carolina Seibet no que toca à auditoria ambiental explicita sua importância, apontando que (2009, p. 473):

> A Auditoria Ambiental surge como uma poderosa ferramenta de política pública no combate a essas catástrofes climáticas, devendo atender aos anseios sócio-ambientais. Esta objetiva, principalmente, o exame ou avaliação sistemática e independente de modo a assegurar que as melhorias planejadas pelas empresas e indústrias para o desempenho ambiental estejam efetivamente sendo alcançadas, e que não se exponham a riscos desnecessários associados a danos e a dispendiosos processos resultantes de poluição causada por elas.

Sob a mesma perspectiva das auditorias ambientais, os procedimentos instaurados pelos Tribunais de Contas, como o Tribunal de Contas da União, para verificar a conformidade dos órgãos governamentais com o arcabouço normativo estabelecido, tanto em nível nacional quanto internacional, no combate às mudanças climáticas, revelam-se um instrumento poderoso para garantir que as políticas adotadas não sejam meramente formais, mas sim efetivas na prática.

Auditoria climática pode ser conceituada como processo de avaliação das conformidades das políticas, programas, projetos e ações

governamentais ou de outras organizações com os objetivos estabelecidos em relação ao combate às mudanças climáticas.

Há de se considerar que o mundo vive um momento ímpar em sua história contemporânea, em que a adoção de medidas concretas torna-se crucial para a manutenção de condições de vida na terra.

Os relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) dão o tom da gravidade, indicando que deve existir a redução da emissão de gases de efeito estufa pela metade até 2030, a fim de que se mantenha o aumento da temperatura global abaixo de 1,5ºC

Nesse contexto, o Tribunal de Contas da União instaurou a Tomada de Contas nº 021.701/2023-7, com o retorno esperado de maior eficácia e efetividade das ações governamentais no enfrentamento da crise climática, materializadas na redução das emissões de GEE, no cumprimento de compromissos internacionais assumidos pelo Brasil e na adoção de medidas adequadas de adaptação às mudanças do clima.

Há de se ressaltar que as auditorias ambientais e climáticas desempenham um papel crucial na avaliação da conformidade e eficácia das políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas, alinhando-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU.

O ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima enfatiza a necessidade de fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação aos riscos climáticos, enquanto o ODS 16 – Paz, Justiça e Instituições Eficazes destaca a importância da transparência e da accountability nas instituições públicas.

Nesse sentido, iniciativas como o "Climate Scanner", promovido pelo Tribunal de Contas da União (TCU) em parceria com a INTOSAI, refletem a busca por um monitoramento sistemático das políticas climáticas, contribuindo para a governança ambiental e o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris. As auditorias climáticas possibilitam a identificação de lacunas nas políticas governamentais e a formulação de recomendações que aprimorem a implementação dos ODS no contexto nacional.

O Tribunal de Contas da União, junto com a INTOSAI, no Grupo de Trabalho de Auditoria Ambiental da INTOSAI (INTOSAI WGEA) lidera a iniciativa do *climate scanner*, que consiste em uma ferramenta digital que busca, em tempo real

> Avaliar as informações obtidas em nível nacional e internacional; consolidar dados produzidos pelas instituições superiores de controle participantes; comunicar informações relevantes em linguagem de fácil compreensão; e dar suporte ao planejamento das instituições superiores de controle e à tomada de decisões pelos governos nacionais (TCU, 2024).

São três eixos de avaliação em busca de avaliação da eficácia das ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas: financiamento, governança e políticas públicas. Em cada tópico avaliado, há forças e desafios especificados.

Assim, a liderança do Tribunal de Contas da União do Brasil na iniciativa do *climate scanner* emite a mensagem de estar compromissado com a pauta relacionada às mudanças climáticas.

Considerações Finais

A crescente conscientização sobre as mudanças climáticas e suas implicações globais tem impulsionado a necessidade de uma governança mais eficaz e transparente das políticas ambientais. Nesse cenário, a auditoria climática surge como uma ferramenta vital para assegurar que as medidas adotadas pelos governos sejam realmente eficazes e alinhadas com os objetivos globais de sustentabilidade.

A Organização Internacional das Entidades Fiscalizadoras Superiores (INTOSAI) desempenha um papel crucial ao fornecer diretrizes e normas que orientam as práticas de auditoria no setor público. Através de seus comitês e grupos de trabalho, como o Grupo de Trabalho de Auditoria Ambiental (WGEA), a INTOSAI fomenta a integração de aspectos ambientais nas auditorias, promovendo uma abordagem mais holística e sustentável para o controle das finanças públicas.

No Brasil, o Tribunal de Contas da União (TCU) tem demonstrado um forte compromisso com a inovação e a eficácia na auditoria climática. A implementação de ferramentas como o "Climate Scanner" reflete uma abordagem proativa para avaliar e melhorar as políticas e práticas relacionadas às mudanças climáticas. Esta iniciativa não apenas reforça o papel do TCU na fiscalização e na promoção da transparência, mas também estabelece um precedente para outras entidades fiscais globais.

O impacto das auditorias climáticas vai além da conformidade regulatória; elas desempenham um papel crucial na garantia de que os recursos públicos sejam utilizados de forma eficiente para enfrentar os

desafios ambientais. A prática de auditoria climática contribui para a construção de uma governança mais robusta e responsável, que é essencial para alcançar os objetivos globais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

À medida que a comunidade internacional continua a enfrentar a crise climática, é fundamental que as instituições de auditoria mantenham e reforcem seus esforços para garantir a efetividade das políticas públicas e a responsabilidade na gestão dos recursos. O fortalecimento das práticas de auditoria climática e a disseminação de boas práticas estabelecidas por organizações como a INTOSAI e o TCU são passos essenciais para promover a sustentabilidade e assegurar um futuro mais resiliente para todos.

Referências

AZUMA, Nobuo. The framework of INTOSAI Government Auditing Standards: in the stream of international convergence. Government Auditing Review, v. 15, n. 1, p. 77-97, 2008.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Conheça um pouco mais sobre a estrutura da INTOSAI. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/conheca-um-pouco-mais-sobre-a-estrutura-da-intos ai.htm. Acesso em: 30 jul. 2024.

FERNANDES, Jorge Ulisses Jacoby. Tribunais de Contas do Brasil: jurisdição e competência. 4ª. ed. rev. atual. e amp. Belo Horizonte: Fórum, 2016
Intergovernmental Panel on Climate Change. Decisions adopted by the Panel at the 61st Session.

Genebra: IPCC, 2024. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2024/08/IPCC-61_decisions-adopted-by-the-Panel.pdf. Acesso em: 30 ago. 2024.

INTOSAI. INTOSAI Development Initiative (IDI). Disponível em: https://www.intosai.org/about-us/intosai-development-initiative.html. Acesso em: 30 jul. 2024

INTOSAI. Organismos de la INTOSAI: comités de meta. Disponível em: https://www.intosai.org/es/acerca-de-nosotros/organos/intosai-comites-de-meta.html. Acesso em: 30 jul. 2024.

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. Curso de Direito Administrativo. 15. ed. rev., amp. e atual. São Paulo: Malheiros, 2003.

PLEŞA, Teodora Nicoleta. Considerations on implementing ESG reporting in the Romanian public sector. The role of the Romanian Court of Accounts in ESG audit. Economic convergence in European Union, p. 73, 2024.

SEIBT, Taís Carolina. A Auditoria Ambiental Face ao Escurecimento Global. Revista EVS-Revista de Ciências Ambientais e Saúde, v. 36, n. 2, p. 473-483, 2009.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Climate Scanner. Disponível em: https://sites.tcu.gov.br/climatescanner/. Acesso em: 30 ago. 2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. 2023 IPCC AR5 Synthesis Report: Climate Change Findings. Disponível em: https://www.wri.org/insights/2023-ipcc-ar6-synthesis-report-climate-change-findings. Acesso em: 28 ago. 2024.

Análise preliminar da balneabilidade do Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto em Camaquã-RS

Caroline Wille[1], Felipe Zamuner[2] , Júlia Lesnik[3], Maria Alice Dos Reis[4], Samuel Bartz[5]

[1] *Professora Doutora /Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Camaquã (carolinewille@ifsul.edu.br)*

[2] *Estudante /Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Camaquã (felipezamuner.cm032@academico.ifsul.edu.br)*

[3] *Estudante /Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Camaquã (julialesnik.cm044@academico.ifsul.edu.br)*

[4] *Estudante /Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Camaquã (mariareis.cm024@academico.ifsul.edu.br)*

[5] *Estudante /Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Camaquã (samuelbartz.cm010@academico.ifsul.edu.br)*

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a balneabilidade do complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto, popularmente conhecido como prainha, no município de Camaquã/RS. Para tanto, determinou-se a concentração da bactéria bioindicadora de contaminação fecal, *Escherichia coli* utilizando a técnica de tubos múltiplos e o reagente Colilert® (IDEXX). Os resultados demonstraram níveis reduzidos de *E. coli*, dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA para balneabilidade. Porém, é discutida a necessidade de avaliar outros parâmetros para determinar a segurança do local para atividades recreativas de contato primário. Por fim, destacamos a necessidade de um monitoramento contínuo da qualidade da água e de ações por parte das autoridades locais para garantir a segurança dos frequentadores e conscientização da população sobre os possíveis riscos para um uso mais seguro do espaço.

Palavras-chave: Balneabilidade. Qualidade hídrica. Bioindicadores sanitários.

Preliminary analysis of the bathing ability of the Ruy de Castro Netto Sports Complex in Camaquã-RS

Abstract: The objective of this work was to evaluate the balneability of the Ruy de Castro Netto Sports Complex, popularly known as Prainha, in the municipality of Camaquã/RS. To this end, the concentration of the bioindicator bacteria of fecal contamination, Escherichia coli, was determined using the multiple tube technique and the Colilert® reagent (IDEXX). The results demonstrated reduced levels of E. coli, placing the water within the standards established by CONAMA for bathing. However, the need to evaluate other parameters to determine the safety of the site for primary contact recreational activities is discussed. Finally, we highlight the need for continuous monitoring

of water quality and actions by local authorities to ensure the safety of visitors and public awareness of the possible risks for safer use of the space.

Keywords: Bathing, Water quality. Health bioindicators.

Introdução

O Complexo Ruy de Castro Netto, localizado na cidade de Camaquã-RS, conhecido popularmente como Prainha, foi construído em 1990, sendo um local de uso recreativo, principalmente para atividades esportivas. O local é bastante utilizado pela população local, principalmente no verão, onde diversas pessoas realizam atividades aquáticas, incluindo recreação de contato primário no pequeno lago artificial, construído no local com finalidade paisagística

Para assegurar a saúde dos banhistas, os balneários no Rio Grande do Sul são monitorados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) desde 1979, no entanto, a Prainha não consta como balneário monitorado pelo órgão de fiscalização ambiental (FEPAM, 2025).

A prática recreativa em locais sem monitoramento ambiental é arriscada, pois pode contribuir para a transmissão de diversas doenças (Carvalho *et al*., 2009). No entanto, a presença de banhistas em áreas não monitoradas é comum, principalmente no interior do Brasil, onde águas represadas artificialmente para outros fins, como açudes, são usadas para banho (Silva *et al*., 2023).

Entre as doenças mais frequentes estão as gastroenterites, além de infecções de pele e oculares, febre tifoide e hepatite A (Madigam *et al*., 2016). Logo, há uma preocupação com a qualidade das águas destinadas a atividades recreativas, por conta das possíveis contaminações.

A balneabilidade é definida como a capacidade de um corpo d'água permitir o banho e atividades aquáticas. Para sua avaliação, utiliza-se critérios objetivos com base em bioindicadores, os quais são comparados com padrões estabelecidos pelo órgão ambiental CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

Os bioindicadores de qualidade podem ser animais, plantas, algas, fungos e bactérias cuja presença, distribuição e outros padrões refletem mudanças ambientais. Para monitorar a qualidade da água, costumam ser utilizados microrganismos bioindicadores de contaminação fecal, visto que a presença de fezes na água é a principal forma de disseminação de doenças hídricas.

Coliformes termotolerantes, principalmente a bactéria *Escherichia Coli (E.Coli*), são indicadores recomendados, pois são encontrados no intestino de humanos e de outros animais de sangue quente (Madigam *et al*., 2016). Por isso, constituem um dos critérios adotados na resolução CONAMA n°274/2000 para classificação dos recursos hídricos em duas categorias "próprias" ou "impróprias" para banho, sendo que a categoria "própria" é subdividida em três classes distintas: "excelente", "muito boa" e "satisfatória", assim como representado no Quadro 1 apresentado abaixo.

Quadro 1 – Relação entre densidade das bactérias *E.coli* e qualidade da água para recreação de contato primário

Categoria	**Limites de E.Coli**
Excelente	Máximo de 200 *E.coli* por 100 mililitros em 80% ou mais das medições.
Muito boa	Máximo de 400 *E.coli* por 100 mililitros em 80% ou mais das medições.
Satisfatória	Máximo de 800 *E.coli* por 100 mililitros em 80% ou mais das medições.
Imprópria	Superior a 800 *E.coli* por 100 mililitros em mais de 20% das medições.

Fonte: Resolução CONAMA n°274/2000.

Em algumas ocasiões, a Prainha foi declarada pela Secretaria da Cultura, Turismo, esporto e Juventude da Prefeitura de Camaquã como inapropriada para banho (Acústica FM, 2017). No entanto, atualmente não existe sinalização no local informando as condições de balneabilidade.

Considerando a importância do monitoramento ambiental para assegurar a saúde dos banhistas e a ausência de estudos sobre as condições da água no local, tornam-se imprescindíveis estudos que analisem a balneabilidade, permitindo a possível conscientização da população camaquense sobre os riscos a que estão se expondo ao banhar-se na Prainha.

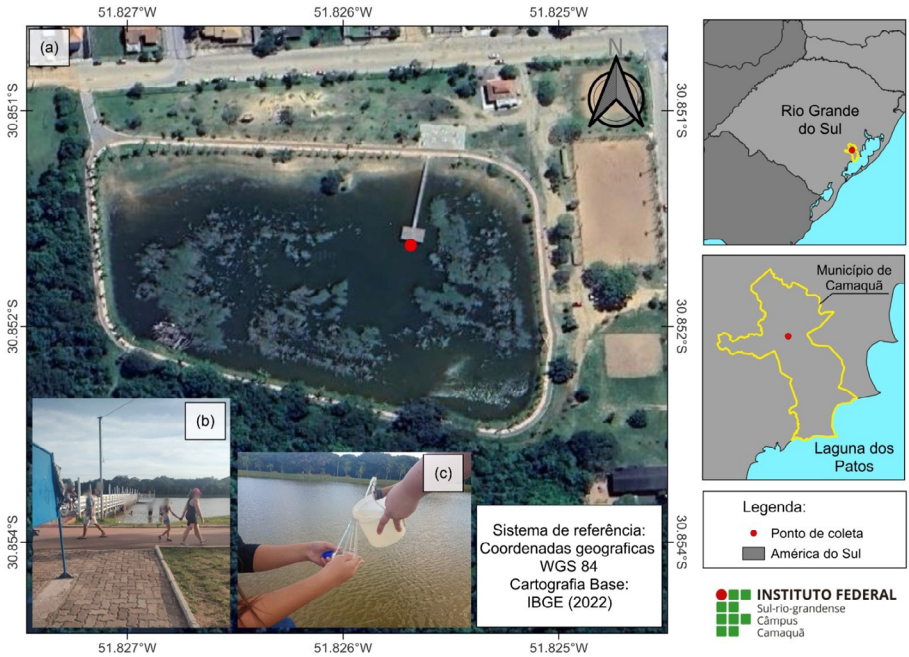
Assim, alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos, o objetivo deste estudo foi avaliar

a contaminação fecal no Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto, concentrando-se na avaliação microbiológica da água para identificar a presença de *Escherichia coli.*

Metodologia

As amostras de água foram coletadas no Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto (30°51’07.5”S 51°49’32.0”W) (Figura 1), popularmente conhecido como Prainha, localizado na Rua General Zeca Neto – Jardim do Forte, Camaquã/RS.

Figura 1 – Localização e características do ponto amostral. A – Localização geográfica do Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto. B – Ocupação do local com atividades de recreação de contato primário. C – Procedimento de coleta.



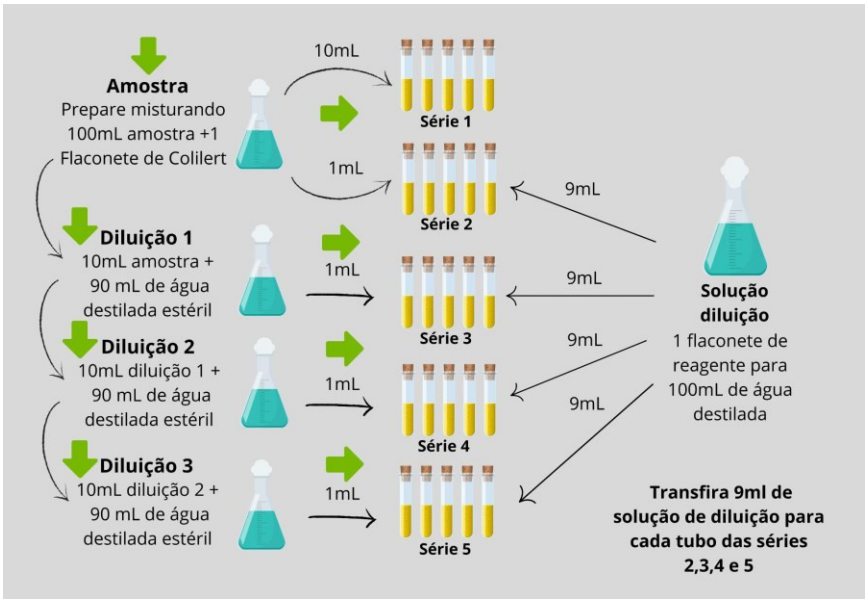
Fonte: IBGE, Google Earth e acervo dos autores.

As coletas foram realizadas na área próxima ao trapiche, a 20 centímetros de profundidade no sentido oposto à corrente, com o auxílio de um balde preso na ponta de um cabo, acondicionada em um frasco esterilizado, respeitando o limite de ⅘ de seu volume e transportada sob refrigeração até o laboratório de microbiologia do IFSul Campus Camaquã. Foi realizada uma única campanha, composta por 5 coletas, realizadas no mês de outubro de 2024, nos dias 11, 18, 22, 24 e 30.

Após coleta, a amostra permaneceu sob refrigeração, respeitando o prazo máximo de 24 horas entre coleta e análise. A técnica utilizada para a estimar a quantidade de *E. coli* em 100mL de água foi a de tubos múltiplos e o reagente utilizado foi o Colilert® (IDEXX), que apresenta propriedades seletivas e diferenciais, indicando simultaneamente a presença de coliformes totais e *E. coli*.

O procedimento de diluição da amostra e aplicação do reagente está ilustrado na Figura 3 e consistiu em diluir progressivamente a amostra, utilizando cinco séries de tubos. Cada série de tubos recebeu um volume menor de amostra que o anterior. Com essas diluições sucessivas, algumas amostras apresentaram uma quantidade de bactérias suficiente para crescer, enquanto outras não. Ao observar quais tubos apresentaram crescimento e quais não, foi possível estimar a quantidade de bactérias presentes na amostra original usando cálculos de probabilidade.

Figura 2 – Procedimento de diluição das amostras para determinação do número mais provável de Escherichia coli em 100mL de água

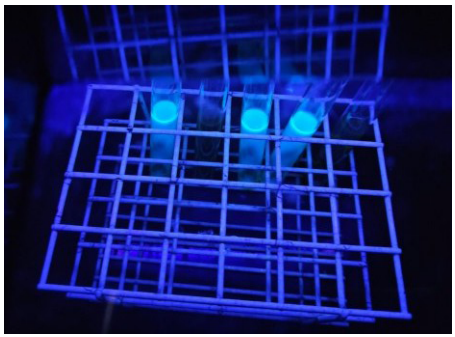


Fonte. acervo dos autores.

Conforme ilustrado na Figura 2, o fator de diluição utilizado foi 10, ou seja, reduzindo a concentração da amostra em 10 vezes a cada série de tubos. Para cada série foram utilizadas cinco repetições, ou seja, 5 tubos para cada concentração.

Após o preparo das amostras, os tubos foram incubados em estufa bacteriológica a 35ºC, com variação de até dois graus Celsius, por 24h. Decorrido o tempo de incubação, foi realizada a leitura dos resultados, verificando-se a coloração dos tubos. A presença de coliformes totais foi observada em iluminação natural, pela alteração da cor na solução, que passa de transparente para amarela. A presença de *E. coli* foi verificada apenas nos tubos que apresentam resultados positivos, indicando a presença de coliformes totais. Assim, os tubos que apresentavam coloração amarela foram avaliados em câmara escura. A presença de *Escherichia coli* foi confirmada quando a solução nos tubos apresentou coloração azul e fluorescência ao ser exposta à luz UV, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Identificação dos tubos que apresentam *Escherichia coli*. Da esquerda para a direita, observa-se os tubos 1, 3 e 4 com resultados positivos, pois apresentam fluorescência azul quando expostos à luz ultravioleta, indicando a presença de *E. coli*



Fonte: acervo dos autores.

Posteriormente à observação do número de tubos em cada série que apresentou resultado positivo para *Escherichia coli*, foram escolhidas 3 diluições, que constituem a séria crítica formada por 3 algarismos utilizados para consulta do NMP de *E. coli* em 100 ml de amostra (NMP/100 ml).

Esses 3 algarismos surgem a partir dos resultados da série mais diluída que apresenta todos os tubos positivos, adicionando os resultados das duas séries seguintes. Em seguida, consulta-se a tabela de probabilidade, estimando o número mais provável em 100mL conforme a combinação de tubos positivos na série crítica.

Resultados e discussão

Após cinco coletas no local, a concentração de *E. coli* permaneceu abaixo de 200 NMP/100ml (Tabela 1). Tomando esse dado isoladamente, poderíamos considerar que o reservatório é próprio para banho, pois, segundo a resolução do CONAMA nº 274/2000, uma praia é balneável quando 80% ou mais das amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, apresentar, no máximo, 800 *E. coli* por 100 mililitros.

Tabela 1 – Concentração de *Escherichia col*i em amostras de água do Complexo Poliesportivo Ruy de Castro Netto em outubro de 2024

Data da coleta	**NMP*/100ml**	**Classificação**
11/10/2024	6,8	
18/10/2024	2	
22/10/2024	27	Própria, categoria Excelente.
24/10/2024	22	
30/10/2024	2	

*Número mais provável.
Fonte: acervo dos autores.

Ao ignorar outros parâmetros, poderíamos considerar também que as condições de balneabilidade da Prainha são excelentes, visto que 80% ou mais das amostras apresentaram resultados inferiores a 200 NMP *E. coli*/100ml. No entanto, este estudo, por avaliar apenas um parâmetro isolado e apresentar uma única campanha, não apresenta resultados conclusivos que indiquem ausência de risco para os banhistas.

A balneabilidade é estabelecida pela combinação de vários parâmetros, tais como a presença de resíduos capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação, o pH, a presença de floração de algas ou outros organismos que possam oferecer riscos à saúde (CONAMA, 2000).

O monitoramento de cianobactérias é importante na prevenção de intoxicações por cianotoxinas, que podem ocasionar hepatotoxicidade aguda, neurotoxicidade, além de sintomas gastrointestinais, respirató-

rios e dermatológicos (Backer *et al*., 2010). O pH é outro parâmetro de interesse, pois níveis extremos podem ocasionar irritação nos olhos e na pele (Lopes; Magalhães Jr; Von Sperling, 2013).

Também é importante considerar as limitações dos bioindicadores fecais. Embora enterobactérias constituam o grupo mais relevante para monitoramento da qualidade hídrica, existem bactérias de origem não fecal potencialmente patogênicas, cuja distribuição nos ambientes aquáticos é pouco explorada, mas pode comprometer a saúde dos banhistas, principalmente em se tratando de ambientes eutróficos (Nascimento; Araújo, 2013).

Outro parâmetro importante para determinar a qualidade hídrica é o oxigênio dissolvido, embora não esteja previsto na CONAMA 274/2000, o oxigênio é um fator limitante para a vida aquática, essencial para os organismos aeróbios e no processo de decomposição de resíduos envolvido no processo de autodepuração de um corpo hídrico. Assim, a baixa concentração de oxigênio indica que o local está recebendo poluentes em quantidades acima da sua capacidade de autodepuração, comprometendo sua qualidade (Fiorucci; Benedetti Filho, 2005).

Ademais, a balneabilidade no local traz outros riscos, como o perigo de ferimentos a partir de objetos cortantes, inclusive houve uma notícia da Acústica FM no ano de 2017 divulgando que a diretora da Secretaria de Saúde e Turismo de Camaquã-RS confirmou o risco de machucados por materiais depositados no lago da prainha, citando o caso de uma criança que cortou o pé com cacos de vidro.

Nesse sentido, Lopes e colaboradores (2013) alertam para o risco de natureza física, discutindo a importância da transparência das águas na prevenção de acidentes. Os autores defendem que a turbidez elevada dificulta a visualização de anteparos existentes no leito dos ambientes naturais e indicam que esse parâmetro é considerado em outros países, citando a norma canadense que prevê uma visibilidade mínima de 1,2m como parâmetro de qualidade recreacional de contato primário.

Apesar das concentrações de *E. coli* inferiores a 200 NMP/100mL, indicando que a Prainha apresentou baixa contaminação de origem fecal no período avaliado pelo presente estudo, ressaltamos a necessidade de estudos mais amplos para determinar a balneabilidade no local.

Assim, recomendamos que seja realizada a análise microbiológica semanalmente, durante todo o verão, e que sejam incluídos os parâme-

tros previstos na CONAMA 274/2000, pH e algas, além de parâmetros não previstos pela legislação, mas que são essenciais para avaliação da qualidade do corpo hídrico, como turbidez e oxigênio dissolvido.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, a Prainha apresentou índice de *Escherichia coli* dentro do limite considerado excelente para balneabilidade. Porém, sem investigações complementares, incluindo parâmetros como pH, turbidez e cianobactérias, não é possível garantir a segurança aos banhistas.

Referências

ACÚSTICA FM. **Prainha recebe placas indicando proibição de banho**. 2017 disponível em https://acusticafm.com.br/prainha-recebe-placas-indicando-proibicao-de-banho/. Acesso em: 21 out. 2024.

BACKER, L. C.; MCNEEL, S. V.; BARBER, T.; KIRK, P. B.; WILLIAMS, C.; IRVIN, M.; ZHOU, Y.; JOHNSON, T. B.; NIERENBERG, K.; AUBEL, M.; LEPRELL, R.; CHAPMAN, A.; FOSS, A.; CORUM, S.; HILL, V. R.; KIESZAK, S. M.; CHENG, Y. S. Recreational exposure to microcystins during algal blooms in two California lakes. **Toxicon**, v. 55, n. 5, 2010.

CARVALHO, A. P.; LIMA, V. L. A.; SILVA, D. G. K. C.; CARVALHO FILHO, A. M. Determinação do índice de balneabilidade do açude de Bodocongó em Campina Grande-PB, Brasil, a partir de indicadores biológicos. **Revista Educação Ambiental em Ação**, n. 28, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 274 de 29 de novembro de 2000**. Estabelece condições de balneabilidade das águas brasileiras. Brasília, 2000.

FEPAM. **Mapa de Balneários**. Disponível em: https://secweb.procergs.com.br/baln-consulta/. Acesso em: 17 fev. 2025.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química E Sociedade**. 2005.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR, A. P.; VON SPERLING, E. Balneabilidade em águas doces no Brasil: riscos à saúde, limitações metodológicas e operacionais. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 9, n. 16, p. 28, 2013.

MADIGAN, M. T. **Microbiologia de Brock**. Editora, Artmed, 2016.

NASCIMENTO, V. F. S.; ARAÚJO, M. F. F. Ocorrência de bactérias patogênicas oportunistas em um reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 91-104, 2013.

SILVA, E. S.; PINHEIRO, M. A. C.; SILVA, A. M.; SANTOS, A. F. S. Análise microbiológica da água do açude da Nação-Bom Conselho/Pe. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 8, p. 13073-13086, 2023.

Produção e análise do carvão ativado produzido a partir da casca de amêndoa funcionalizada com cloreto de zinco

Rafaela Fernandes Homero[1], Eduardo Borges Lied[2], Ana Queiroz[3], António E. Ribeiro[4], Paulo Brito5

[1]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (rhomero@alunos.utfpr.edu.br)*
[2] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (eduardolied@utfpr.edu.br)*
[3]*Instituto Politécnico de Bragança (amqueiroz@ipb.pt)*
[4]*Instituto Politécnico de Bragança (aribeiro@ipb.pt)*
[5]*Instituto Politécnico de Bragança (paulo@ipb.pt)*

Resumo: Este estudo investigou a produção e caracterização do carvão ativado a partir da casca de amêndoa funcionalizada com cloreto de zinco ($ZnCl_2$). O uso de resíduos agroindustriais, como a casca de amêndoa, promove a sustentabilidade e a economia circular ao substituir precursores tradicionais. A ativação química foi realizada em uma proporção mássica de 1:1:8 (casca de amêndoa, $ZnCl_2$, água), seguida por carbonização a 500°C por 1 horas. As análises realizadas incluíram rendimento de carbonização (49,8%), ponto de carga zero (pHpzc = 7,6), espectroscopia FTIR e área superficial (383,19 m^2/g). O FTIR identificou grupos funcionais como hidroxilas, carbonilas e ésteres aromáticos, essenciais para processos de adsorção. A estrutura microporosa e o volume total de poros (0,24 m^3/g) indicam potencial para aplicações em filtração e purificação. Os resultados demonstram que o carvão ativado produzido apresenta boas propriedades físico-químicas e adsorventes, tornando-se uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes e outras aplicações ambientais. Além disso, o estudo contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere à redução de impactos ambientais e valorização de resíduos.

Palavras-chave: Carvão Ativado. Cloreto de Zinco. Casca de Amêndoa

Production and analysis of activated carbon produced from almond shell functionalized with zinc chloride

Abstract: This study investigated the production and characterization of activated carbon from almond shell functionalized with zinc chloride ($ZnCl_2$). The use of agro-industrial residues, such as almond shell, promotes sustainability and the circular economy by replacing traditional precursors. The chemical activation was carried out in a mass ratio of 1:1:8 (almond shell, $ZnCl_2$, water), followed by carbonization at 500°C for 1 hour. The analyses conducted included carbonization yield (49.8%), zero charge point (pHpzc = 7.6), FTIR spectroscopy, and surface area (383.19 m^2/g). FTIR identified functional groups such as hydroxyls, carbonyls, and aromatic esters, which are essential for

adsorption processes. The microporous structure and total pore volume (0.24 m^3/g) indicate potential for filtration and purification applications. The results show that the produced activated carbon presents good physicochemical and adsorptive properties, making it a sustainable alternative for effluent treatment and other environmental applications. Furthermore, the study contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs), especially regarding the reduction of environmental impacts and the valorization of waste.

Key words: Activated Carbon. Zinc Chloride. Almond Shell.

Introdução

O carvão ativado é um material favorável em aplicações ambientais e industriais devido à sua alta porosidade, grande área superficial e adaptabilidade por meio de vários métodos de síntese e ativação. Seu papel no controle da poluição ressalta sua importância no avanço de tecnologia sustentáveis (Gao *et al.* 2020 ; Zhang *et al.* 2022).

A busca por matéria-prima alternativas para a produção de carvão ativado é essencial para a suprir a crescente demanda por adsorventes econômicos, sustentáveis e ecologicamente corretos. Fontes tradicionais e comerciais são frequentemente caras e ambientalmente prejudiciais, isso estimula a investigação de alternativas renováveis. A utilização de resíduos agrícolas como precursores para a produção de carvão ativado favorece a economia circular e a sustentabilidade. Esses materiais são frequentemente descartados, o que os torna uma escolha econômica em comparação com fontes tradicionais baseadas em fósseis (Raut, *et al.* 2021; Muzarpar, *et al.* 2020).

A casca de amêndoa é um material vegetal residual abundante em Portugal e rico em carbono, sendo uma boa matéria prima para a produção de carvão ativado em terras portuguesas.

A funcionalização da matéria prima, pode potencializar a eficiência do material o tornando mais vantajoso. A ativação com cloreto de zinco ($ZnCl_2$) oferece vantagens no aprimoramento de propriedades de adsorção e características de superfície da biomassa (Hock, P., & Zaini, M. 2018). O objetivo da pesquisa é produzir carvão ativado a partir da casca de amêndoa funcionalizada com $ZnCl_2$ e avaliar as características físico-químicas. De forma indireta, contribuir para a valorização de resíduos agroindustriais, desenvolver materiais mais eficientes e sustentáveis para a adsorção e trazer um impacto positivo no meio ambiente ao reduzir o descarte inadequado de resíduos.

Esse estudo contribui com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável e pode ser relacionado à ODS 13 – ação contra a mudança global do clima, ao valorizar resíduos e reduzir impactos ambientais, minimizando a emissão de poluentes e promovendo práticas mais sustentáveis.

Materiais e métodos

A casca de amêndoas ativada com $ZnCl_2$ foi utilizada como material adsorvente. A casca de amêndoa foi gentilmente fornecida pela empresa Amendouro, localizada em Vila Flor, no norte de Portugal. Este resíduo foi submetido a moagem em moinho ultracentrífugo Retsch GmbH ZM200, em seguida passou pelo processo de ativação química.

A etapa de ativação química ocorreu em proporção mássica de 1:1:8 (cascas de amêndoa, $ZnCl_2$, água) por um período de 24 horas a 25ºC, em seguida filtrou-se a solução e o material sólido foi seco em estufa à 110ºC por 24 horas. Após o período de secagem, foi pesado 12g do material, em cadinho de porcelana, e levados a forno mufla a 500ºC por 1 horas. O material carbonizado foi lavado com NaOH, HCl e água destilada, até alcançarem pH entre 6,0 e 7,0. Por fim, a amostra foi seca em estufa a 110ºC por 24h dando origem ao carvão ativado à partir da casca de amêndoa funcionalizada com $ZnCl_{2.}$

Para caracterizar a amostra de carvão ativado foi calculado o rendimento de carbonização, o ponto de carga zero (pHpzc), realizou-se a análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e área superficial.

O rendimento de carbonização foi calculado em percentagem, através da divisão da massa antes da carbonização pela massa após a carbonização.

A metodologia para determinar o pHpzc envolveu a preparação de 11 frascos com solução de NaCl 0,1 mol/L em diferentes pH iniciais (2-12), ajustados com NaOH e HCl. Após a adição de 150mg do adsorvente, as amostras foram agitadas por 24 horas a 160 rpm e 25 ºC, centrifugadas e o pH final foi medido. O pHpzc foi determinado pelo ponto onde $\Delta pH = 0$ no gráfico de variação de pH.

A amostra foi desgaseificada a 250 ºC por 4 horas para remover contaminantes adsorvidos. A análise foi realizada em um equipamento Quantachrome NOVA touch 2LX, usando nitrogênio como adsorvato a

77,35 K. O volume vazio da célula foi medido com hélio, e a isoterma de adsorção foi obtida em diferentes pressões relativas (P/Po). A área superficial foi calculada pela equação BET, relacionando a quantidade de gás adsorvido com a pressão relativa.

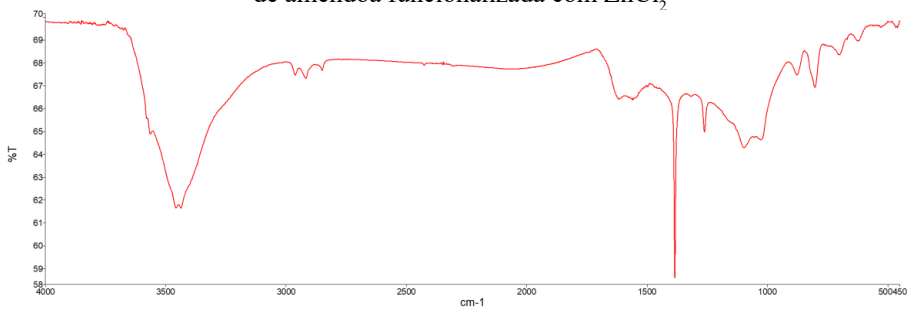
Resultados e discussão

O rendimento de carbonização da casca de amêndoa ativada com $ZnCl_2$ foi de 49,8% e indica que aproximadamente metade da biomassa original foi convertida em carvão, enquanto o restante foi perdido como gases voláteis e subprodutos líquidos. Esse valor indica um bom percentual de rendimento, que possivelmente foi influenciado pela ativação química (Kim, *et al.* 2017).

O pHpzc encontrado foi de 7,6 indicando que o ponto de carga zero do carvão ativado produzido a partir da casca de amêndoa ocorre em um pH levemente alcalino. Esse resultada evidencia que em soluções com pH acima de 7,6 a superfície do material adquire carga negativa, portanto favorece a adsorção de cátions. Em contrapartida, em pH abaixo de 7,6 a superfície se torna positivamente carregada e facilita a adsorção de ânions.

A seguir, são apresentados os resultados da análise no infravermelho do carvão ativado a partir da casca de amêndoa funcionalizada com cloreto de zinco:

Figura 1: Espectro de absorção no infravermelho do carvão ativado a partir da casca de amêndoa funcionalizada com $ZnCl_2$



A análise no infravermelho revela os principais grupamentos presentes, indicando os grupos funcionais e suas respectivas regiões de absorção.

A análise do espectro FTIR revelou vibrações em 3438 cm^{-1}, atribuídas à ligação OH de fenóis e álcoois, presentes em pectina, lignina

e celulose. Picos entre 1680 – 1750 indicam estiramento de carbonilas ou carboxilas, enquanto entre 1300-1000 cm^{-1} estão associadas a vibrações de C-O em álcoois, fenóis, éteres e ésteres. O C=C em alcenos e compostos aromáticos aparece em 1625 cm ^{1}, e a banda 1384 refere-se ao C-O dos ésteres aromáticos da lignina.

A área superficial do material é de 383,19 m^2/g e possui microporos. O volume total de poros atinge 0,24 m^3/g, indicando maior potencial de pequenas moléculas. O diâmetro médio dos poros é de 1,23, classificado como predominantemente mesoporoso, apesar da significativa presença de microporos. Essas características sobre a área superficial do material favorecem sua aplicação em processos de filtração e purificação.

Conclusão

O carvão ativado produzido a partir da casca de amêndoa funcionalizado com $ZnCl_2$ apresentou um bom rendimento, mantendo uma estrutura favorável a ativação. O ponto de carga zero indica versatilidade na adsorção de cátion e ânions, dependendo do pH do meio. A análise FTIR confirmou a presença de grupos funcionais importantes, como hidroxilas, carbonilas e ésteres aromáticos. A alta área superficial e o volume de poros evidenciam a formação de microporos, tornando o material adequado para aplicações em filtração e purificação.

Referências

GAO, Y., YUE, Q., GAO, B., & LI, A. (2020). Insight into activated carbon from different kinds of chemical activating agents: A review.. The Science of the total environment, 746, 141094.

HOCK, P., & ZAINI, M. (2018). Activated carbons by zinc chloride activation for dye removal – a commentary. Acta Chimica Slovaca, 11, 106 – 99.

KIM, D., KIL, H., NAKABAYASHI, K., YOON, S., & MIYAWAKI, J. (2017). Structural elucidation of physical and chemical activation mechanisms based on the microdomain structure model. Carbon, 114, 98-105.

MUZARPAR, M., LEMAN, A., RAHMAN, K., SHAYFULL, Z., & IRFAN, A. (2020). Exploration Sustainable Base Material for Activated Carbon Production Using Agriculture Waste as Raw Materials: A Review. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 864.

RAUT, E., THAKUR, M., & CHAUDHARI, A. (2021). A review on activated carbon preparation from natural and eco-friendly raw materials. 2nd international conference on advanced materials behaviour and characterization, 2417.

ZHANG, S., ZHENG, M., TANG, Y., ZANG, R., ZHANG, X., HUANG, X., CHEN, Y.,

YAMAUCHI, Y., KASKEL, S., & PANG, H. (2022). Understanding Synthesis–Structure– Performance Correlations of Nanoarchitectured Activated Carbons for Electrochemical Applications and Carbon Capture. Advanced Functional Materials, 32.

Diagnóstico Ambiental do Delta lagunar do Rio Camaquã: Uma Abordagem Integrada

Rafaela Rosiak Wolowski[1], Júlia Pacheco Gomes[1], Kamily de Alexandre Salau[1], Camila Ferraz Correa[2], Luciana Rodrigues Nogueira[2]
[1] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense / IFSul-campus Camaquã, discentes Curso Técnico em Controle Ambiental (rafaelawolowski.cm013@academico.ifsul.edu.br)
[2] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense /IFSul-campus Camaquã, docentes (camilafcorrea@gmail.com; lucianagueira@ifsul.edu.br)

Resumo: O Delta lagunar do Rio Camaquã, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, ocorre junto a sua foz, na Laguna dos Patos (31°14'44.4"S 51°44'50.8"W) na localidade de Santo Antônio, no município de Camaquã e pertence a uma unidade de conservação. A expansão agrícola pelas margens do rio, o desmatamento e a poluição da água são alguns dos principais problemas enfrentados na região, resultando em impactos negativos. O objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico por meio de uma abordagem integrada de parâmetros ambientais e também por meio de um protocolo de avaliação rápida de habitats (PARH). Foram avaliados os parâmetros: as características da água e sedimento, vegetação, erosão, extensão da mata ciliar, cobertura vegetal, além do parâmetro não tradicional, a genotoxicidade da água. A pontuação obtida a partir da aplicação do PARH foi 30 pontos, caracterizando o Delta lagunar do Rio Camaquã como ambiente impactado e com elevada genotoxicidade. Os dados apresentados neste trabalho mostram que a pressão neste ambiente natural se dá pela degradação de seu ecossistema, de acordo com a classificação encontrada no PARH, e também apontada pela qualidade da água de seu principal curso hídrico, evidenciada pela elevada genotoxicidade.

Palavras-chave: Biomonitoramento. Unidade de Conservação. Recurso Hídrico.

Environmental Diagnosis of the Camaquã River Lagoon Delta: An Integrated Approach

Abstract: The Camaquã River lagoon delta, located in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, occurs near its mouth, in Laguna dos Patos (31°14'44.4"S 51°44'50.8"W) in the town of Santo Antônio, in the municipality of Camaquã and belongs to a conservation unit. Agricultural expansion along the river banks, deforestation and water pollution are some of the main problems faced in the region, resulting in negative impacts. The objective of this study was to carry out an environmental analysis through an integrated parameter approach and also through a rapid habitat assessment protocol (PARH). The following parameters were evaluated: water and sediment characteristics, vegetation,

erosion, extent of riparian forest, vegetation cover,and their conservation status, in addition to the non-traditional parameter, water genotoxicity. The score obtained from the application of PARH was 30 points, characterizing the Delta lagunar, on Camaquã river onment with high genotoxicity. The data presented in this work show that the pressure in this natural environment is caused by the degradation of its environment, according to the classification found in the PARH, and also indicated by the quality of the water in its main watercourse, evidenced by the high genotoxicity.

Key words: Biomonitoring. Conservation Unit. Water Resource.

Introdução

Áreas de preservação ambiental são definidas como uma extensa área natural voltadas à proteção das espécies de animais e plantas de uma determinada região, funcionando como uma reserva ecológica que garante a proteção e conservação de atributos bióticos e abióticos. Deltas lagunares, são acumulações costeiras, subaéreas e subaquosas localizadas na desembocadura de um rio ao encontrar um corpo receptor que pode ser um lago, laguna ou mar (Lopes, Trentin e Simon, 2019). De acordo com Suguio (2003), ambientes deltaicos são dinâmicos, instáveis e frágeis, portanto exigem um monitoramento, para a sua formação, é necessário que um rio, transportando carga sedimentar, flua rumo a um corpo permanente de água em relativo repouso. O fluxo lento dessas águas permite que os sedimentos transportados pelo rio sejam depositados nas margens, formando elevações de terra ao longo do tempo. À medida que os sedimentos se acumulam, canais naturais são criados, separando as áreas de terra em ilhotas e formando o chamado delta. A mistura de água doce e salgada cria condições favoráveis para uma rica biodiversidade.

O Delta lagunar do Rio Camaquã, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, é um importante ecossistema que desempenha um papel fundamental na manutenção da biodiversidade regional e no manejo sustentável de seus recursos naturais. Em relação ao solo, é composto por diferentes tipos de sedimentação, como argila, areia e lodo. Essa combinação de sedimentos cria solos férteis e favorece a vegetação típica das áreas úmidas, como, por exemplo, o arroz irrigado. No entanto, o delta lagunar do Rio Camaquã enfrenta diversos desafios para sua conservação. A expansão agrícola ao longo das margens do rio, o desmatamento, a poluição da água e a construção de barragens são alguns dos principais problemas enfrentados na região, resultando em impactos negativos. Além disso, a pesca predatória e a introdução

de espécies exóticas representam ameaças à biodiversidade local. Na região é comum encontrar pescadores artesanais que, com meios de produção próprios, exercem sua atividade de forma autônoma ou em regime de economia familiar de subsistência. O objetivo deste trabalho é conhecer a qualidade ambiental do Delta lagunar do Rio Camaquã, sob a ótica de diversos parâmetros de qualidade.

Métodos

Área de estudo

Delta lagunar do Rio Camaquã, está localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, ocorre junto a sua foz, na Laguna dos Patos (31°14'44.4"S 51°44'50.8"W) na localidade de Santo Antônio, no município de Camaquã. A área avaliada possui largura aproximada de 360 m, a profundidade do rio é aproximadamente 5 m (Figuras 1 e 2). Em 1 observa-se no detalhe a balsa que faz a travessia do Rio Camaquã para a comunidade que vive na Ilha Santo Antônio (Delta lagunar), em 2 observa-se os barcos de pescadores presentes na região.

Figura 1 – Rio Camaquã



Fonte: autoras (2022)

Figura 2 – Delta lagunar do Rio Camaquã



Fonte: autoras (2022)

Coletas de água

Foram realizadas 7 coletas de água, no período compreendido entre setembro de 2022 a janeiro de 2024. A água foi coletada e preservada em garrafas plásticas previamente higienizadas e transportadas para o laboratório seguindo-se os métodos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.*, 2017).

Determinação da genotoxicidade e parâmetros físico-químicos

A determinação dos parâmetros físico-químicos foi realizada *in loco* por meio de um medidor multiparâmetro da marca Akso ® e um oxímetro da marca Hanna ® (Figura 3). Para a determinação da genotoxicidade foram utilizados 20 ramos de *Tradescantia pallida* var. *purpúrea*, os ramos foram adaptados em água destilada por 24 horas, posteriormente foi realizada a exposição à água do Rio Camaquã e ao controle negativo (água destilada) por 8 horas e finalmente a recuperação por 28 horas em água destilada conforme metodologia descrita por Nogueira *et al.* (2024). As frequências de aborto polínico (AP) foram expressas em AP/100 (número de grãos de pólen abortivos em 100 células).

Figura 3 – Determinação dos parâmetros físico-químicos (alunas do curso Técnico em Controle Ambiental - 2º ano, ensino médio – IFSUL campus Camaquã)



Fonte: Autoras (2023)

Protocolo de avaliação rápida de habitats (PARH)

Para descrição da paisagem do Delta lagunar do Rio Camaquã foi aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Hábitats (PARH), adaptado de Callisto *et al.* (2002). Para a caracterização do ambiente, foram analisadas 13 variáveis selecionadas de acordo com as características presentes no ambiente: o tipo de ocupação das margens; a erosão nas margens e assoreamento do leito; as alterações antrópicas; a cobertura vegetal sobre o leito do rio; o odor da água; a oleosidade da água; a transparência da água; o depósito de lama; os depósitos sedimentares; a alteração no canal do rio; a presença de mata ciliar; a estabilidade das margens; a extensão de mata ciliar e a presença de plantas aquáticas. Cada variável recebeu um valor de 0 a 4 e os resultados foram convertidos com base na escala proposta por Callisto *et al.* (2002), onde um somatório de 0 a 40 pontos indica ambiente impactado; de 41 a 60 pontos ambiente alterado e de 61 a 100 pontos ambiente natural.

Resultados e discussão

Os parâmetros físico-químico analisados mostraram valores médios dentro do que é aceito pela legislação vigente (BRASIL, 2005). Os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram valores médios dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Entretanto, a turbidez elevada (40,35 NTU) pode indicar impactos negativos sobre o ecossistema aquático, como a redução da penetração de luz, afetando processos fotossintéticos e, consequentemente, a cadeia trófica local. Embora não ultrapassem os valores máximos permitidos, a presença de sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica sugerem influência de atividades antrópicas, como o cultivo de arroz irrigado e a retirada de vegetação ciliar (Tabela 1).

A planta bioindicadora *Tradescantia pallida* var. *purpurea* é conhecida mundialmente pela sua sensibilidade agentes poluidores, que muitas vezes não são mostrados em análises tradicionais ou estão presentes em misturas complexas como aquelas encontradas em águas naturais, principalmente quando estas águas representam a porção final de um curso hídrico (Nogueira, Cassanego e Droste, 2022). Através do bioensaio do aborto polínico em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* é possível prever o potencial genotóxico de ambientes naturais medindo os danos causados ao material genético das células afetadas. Os valores encontrados neste estudo remetem a genotoxicidade acima da frequência de abordo polínico considerada normal para a espécie, que é 2,90, encontrada no controle negativo (Nogueira *et al.*, 2024), indicando elevado potencial genotóxico para a água do Rio Camaquã, em seu delta lagunar, contribuindo para agravar a carga poluidora que chega em sua foz, na Laguna dos Patos. Esse dado é especialmente relevante por indicar a presença de poluentes que, mesmo em concentrações baixas ou em misturas complexas, podem comprometer a integridade genética da biota aquática e afetar a saúde humana a longo prazo.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos da água e aborto polínico para a foz do Rio Camaquã

Parâmetros	Média	Conama 357/2005
pH	7,38	6,0-9,0
Temperatura (°C)	21,78	-
Oxigênio dissolvido (mg/LO2)	6,59	6,0

Sólidos dissolvidos totais (ppm)	1,60	500
Salinidade (ppt)	1,17	-
Condutividade elétrica (µS/cm)	2,39	-
Turbidez (NTU)	40,35	40,0
Frequência média de aborto polínico	6,60	-

Fonte: autoras (2024)

O Protocolo de Avaliação Rápida de Habitats aplicado na área amostrada no Delta lagunar do Rio Camaquã obteve 30 pontos, indicando um ambiente impactado (Quadro 1). Lopes, Dias e Simon (2021) destacam que a região vem sofrendo com intensa degradação ambiental causada pela retirada de sedimentos do fundo do rio, remoção de mata ciliar, introdução de espécies exóticas e avanço da agricultura sob sua área. Em estudo do uso e ocupação da terra desta área e abrangendo um período de 14 anos, realizado por Lopes, Trentin e Simon (2019) os autores observaram que houve a redução de 2,1% das coberturas da terra, em decorrência dos vários impactos e pressões antropogênicas, em especial resultantes do cultivo do arroz irrigado. Embora o Delta lagunar do Rio Camaquã pertença a uma área inserida em uma unidade de conservação integral do estado do Rio Grande do Sul (Parque Estadual do Camaquã) criada em 12 de março de 1975 (Sema, 2024), a região ainda não possui plano de manejo ou ações de proteção ambiental.

O Delta do rio Camaquã, localizado no município de Camaquã/RS, destaca-se como uma paisagem singular do Pampa Atlântico, caracterizada pela interação entre os sistemas fluvial e lacustre, resultando em elevada complexidade ambiental e riqueza ecossistêmica. Apesar de não ter sido contemplado entre as áreas com os maiores valores do índice de geodiversidade no estudo de escala regional, sua relevância geográfica e ecológica é reconhecida pelos autores como um ambiente de expressivo potencial geopatrimonial. Nesse sentido, Lopes *et al.* (2023) defendem a necessidade de estudos qualitativos e inventários específicos para subsidiar ações de geoconservação no delta, dada sua importância enquanto área de transição geológica e de expressiva manifestação da geodiversidade associada à cultura e aos modos de vida locais.

Dessa forma, os resultados apontam para a urgência de estratégias integradas de conservação e manejo, que considerem não apenas os

indicadores ambientais e a degradação em curso, mas também o valor patrimonial e ecológico intrínseco do Delta lagunar do Rio Camaquã.

A ausência de instrumentos efetivos de gestão territorial e ambiental em uma área de tamanha relevância evidencia a lacuna entre a criação formal das unidades de conservação e sua operacionalização prática, reforçando a importância de políticas públicas voltadas à proteção ativa dessas paisagens estratégicas para a geodiversidade e a sustentabilidade da região da Costa Doce do Rio Grande do Sul.

Quadro 1 – Aplicação de protocolo de avaliação rápida de habitats (PARH)

Parâmetros	**Pontuação**		
	4 pontos	**2 pontos**	**0 pontos**
1. Tipo de ocupação das margens do corpo hídrico	Vegetação natural		
2. Erosão próxima das margens do rio e assoreamento em seu leito		Moderada	
3. Alterações antrópicas		Alterações de origem doméstica	
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial		
5. Odor da água	Nenhum		
6. Oleosidade da água	Ausente		
7. Transparência da água		Turva/cor de chá	
8. Tipo de fundo		Lama/areia	
9. Alterações no canal do rio		Alguma alteração presente	
10. Presença de mata ciliar		Entre 70 a 80% com vegetação ripária nativa: desflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação	

11. Estabilidade das margens		Moderadamente estáveis	
12. Extensão da mata ciliar			Largura de vegetação ripária entre 6 a 12 m; influência antrópica interna
13. Presença de plantas aquáticas			Ausente

Fonte: Adaptado de Calisto *et al*. (2002)

Conclusão

Os dados apresentados neste estudo demonstram que a pressão sobre este ambiente natural decorre de sua degradação contínua, conforme indicado pela classificação do PARH e ainda corroborada pela má qualidade da água de seu curso principal, evidenciada por altos níveis de genotoxicidade. Estudos como este servem de alerta quanto ao descaso com as áreas de preservação ambiental no estado do Rio Grande do Sul e ressaltam a necessidade urgente de ações de fiscalização, práticas de manejo sustentáveis e educação ambiental para garantir a conservação dessas áreas, preservando, assim, o patrimônio ambiental e o legado da região.

Referências

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

LOPES, A. L. O.; TRENTIN, G.; SIMON, A. L. H. Análise da dinâmica de coberturas e usos da terra como subsídio ao planejamento ambiental de unidades de conservação: aplicações no parque estadual do Camaquã (RS-Brasil). **R. Ra'e Ga**, v.46, n.2, p. 152-170, 2019.

LOPES, A. L. O.; DIAS, L. C.; SIMON, A. L. H. Produção de materiais educativos para o Parque Estadual do Camaquã (RS/Brasil): Estratégias de divulgação e educação ambiental. **Geografia Ensino Pesquisa**, v. 25, n.15, 2021.

LOPES, A. L. O.; CARDOSO, A. M.; TRENTIN, G.; SIMON, A. L. H. Manifestação paisagística das áreas com elevados valores do índice de geodiversidade no Pampa Atlântico brasileiro. **GeoPUC**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 29, p. 1–10, 2023.

NOGUEIRA, L. R.; CASSANEGO, M. B. B.; DROSTE, A. Temporal analysis of genotoxicity and environmental factors related to water quality of a watershed in South Brazil. **Ciência e Natura,** v. 44, p. 1-21, 2022.

NOGUEIRA, L. R.; STEIN, I. K.; DUARTE, J. H.; DROSTE, A. Aborto polínico em

Tradescantia pallida var. purpurea: uma nova metodologia para biomonitoramento da água superficial. **Revista Thema**, v. 23, n.3, p. 803-813, 2024.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: editora Edgar Blücher Ltda, 2003. 400p.

Técnica de coagulação/floculação combinada com processo de separação por membrana aplicada ao tratamento de efluente de lavanderia de jeans

Ana Cláudia Ueda[1], Matheus da Silva Rodrigues[2], Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro[3]
[1]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Apucarana (anaueda@utfpr.edu.br)*
[2]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Apucarana (matheus_et@outlook.com.br)*
[3]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Apucarana (valquiria@utfpr.edu.br)*

Resumo: O efluente industrial têxtil constitui um importante problema ambiental, pois apresenta elevada presença de cor e presença de substâncias químicas restantes dos processos de beneficiamento/acabamento, podendo muitas vezes conter metais pesados. O setor têxtil consome todos os dias milhares de litros de água e consequentemente gera um elevado volume de efluente, tornando ainda mais difícil o tratamento. Pensando em alternativas que possam auxiliar na mitigação deste problema, o trabalho apresenta práticas de tratamento de efluente, utilizando uma combinação de técnicas: tratamento primário por Coagulação/Floculação (CF) e o terciário de Processo de Separação por Membranas (PSM) com Osmose Inversa (OI). Para realizar os ensaios experimentais foi utilizado o efluente gerado durante as aulas práticas de beneficiamento de peças Jeans, no laboratório de lavanderia industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Apucarana. Foi construído um sistema de tratamento compacto utilizando um galão de cinquenta litros, que serviu como tanque de alimentação, onde foi adicionado o coagulante sob agitação. Em seguida, ocorreu a decantação e o sobrenadante seguiu para o sistema de Osmose Inversa. Por fim, as amostras coletadas na saída da filtração foram analisadas e foi possível obter resultados satisfatórios quanto a redução de turbidez, condutividade elétrica, DQO, cor e sólidos totais. Avaliando os resultados obtidos concluiu-se que a combinação das técnicas foi efetiva no tratamento do efluente de lavanderia nas condições deste trabalho. Entretanto, para aplicação industrial o processo deve ser melhorado, pois a vazão de permeado da membrana foi baixa.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Tratamento de efluentes. Coagulação/Floculação/Osmose Inversa.

Coagulation/flocculation technique combined with membrane separation process applied to the treatment of jeans laundry wastewater

Abstract: Textile industrial effluent is a major environmental problem because it has a high presence of color and chemical substances left over from finishing processes, and can often contain heavy metals. The textile industry consumes thousands of liters of water every day and consequently generates a high volume of effluent, making treatment even more difficult. Thinking about alternatives that can help mitigate this problem, the paper presents effluent treatment practices, using a combination of techniques: primary treatment by Coagulation/Flocculation (CF) and tertiary treatment by Membrane Separation Process (MSP) with Reverse Osmosis (RO). To perform the experimental tests, the effluent generated during practical classes on the improvement of jeans pieces was used, in the industrial laundry laboratory of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Apucarana campus. A compact treatment system was built using a fifty-liter recipient, which served as a feed tank, where the coagulant was added under agitation. Then, decantation occurred and the supernatant went to the Reverse Osmosis system. Finally, the samples collected at the filtration outlet were analyzed and it was possible to obtain satisfactory results regarding the reduction of turbidity, electrical conductivity, COD, color and total solids. Evaluating the results obtained, it was concluded that the combination of techniques was effective in the treatment of laundry effluent under the conditions of this work. However, for industrial application the process must be improved, since the permeate flow rate of the membrane was low.

Keywords: Textile wastewater. Wastewater treatment. Coagulation/Flocculation/Reverse Osmosis.

Introdução

Segundo Salcedo (2014), a indústria têxtil é considerada um dos segmentos industriais mais poluente do mundo, sendo responsável por consumir bilhões de litros de água todos os anos e geram de 50 a 100 L de água residuária por kg de tecido produzido (ARSLAN-ALATON *et al.*, 2008). O efluente industrial têxtil, ainda que apresente grande variação de composição, geralmente apresentam características, como: elevada turbidez e alcalinidade, altas concentrações de sais dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos e dissolvidos, metais, compostos orgânicos e inorgânicos, coliformes termotolerantes, além de elevados níveis ecotoxicológicos (MAINARDI, P.H., 2021). Quando esse efluente é descartado em corpos hídricos sem o devido tratamento, pode gerar poluição e contaminação colocando em risco todo o ambiente ao redor. Para ajudar a mitigar esse problema inerente ao setor industrial têxtil, é

de suma importância buscar meios para realizar a adequação do efluente antes que ele seja descartado. Realizar esse tratamento não é simples e algumas técnicas exigem muito tempo, o que por vezes torna o processo muito caro ou até mesmo inviável, por conta do alto volume de efluente que precisa ser tratado. Os processos físico-químicos, principalmente de coagulação/floculação, têm sido amplamente utilizados no tratamento de efluentes que contém substâncias de difícil degradação, pois são de fácil operação e baixo custo. No entanto, muitas vezes acabam por não atingir as condições necessárias para descarte do efluente (VERMA *et al.*, 2012), sendo necessária uma etapa subsequente. Neste caso, foi escolhida a filtração por membrana.

Objetivos

O principal objetivo deste trabalho foi realizar o tratamento de efluentes têxteis, provenientes dos processos de lavanderia industrial, por meio de tratamento combinado de coagulação/floculação (CF) seguido de separação por membranas (SPM), visando o reuso do recurso hídrico em beneficiamentos têxteis.

Metodologia

Tratamento do efluente têxtil

A etapa de coagulação/floculação/decantação ocorreu no galão de 50 litros contendo amostra do efluente têxtil em temperatura ambiente. Os parâmetros utilizados para a etapa de coagulação/floculação foram estabelecidos na pesquisa Fortino (2012): concentração de coagulante sulfato de alumínio 70 mg L^{-1} em pH 8 com agitação inicial de 180 rpm durante 1 minuto e uma mistura lenta de 30 rpm por 3 minutos. Após 24 h de decantação, o registro no fundo do tanque foi aberto e 10 L do efluente contendo o lodo foi coletado. Em seguida, foi deixado em descanso por 30 minutos para nova separação do lodo e o sobrenadante. A fase líquida foi separada usando uma mangueira flexível de 100 mm e o lodo foi disposto sobre a bancada para secagem por convecção natural.

Para o processo de osmose inversa foi utilizado um módulo espiral TW30-1812-100 (Dow Filmtec), composta por uma fina película de poliamida-polisulfona, com área de 1064 cm^2. Antes do uso, a membrana foi higienizada por 1h com água corrente. Após a lavagem, a bomba foi

acionada e a vazão foi mantida por 6 h, até que todo efluente permeado pela membrana foi coletado em um béquer de 1L.

A Figura 1 mostra o sistema utilizado neste trabalho para o tratamento do efluente têxtil.

Figura 1 – Sistema de tratamento do efluente têxtil utilizado: (1) bomba; (2) reservatório de efluente; (3) sistema de membrana; (4) reservatório de decantado; (5) reservatório de filtrado.



Fonte: Autores (2023)

Ensaios de reuso do efluente para tingimento

Foram realizados 3 ensaios de tingimento utilizando o efluente tratado para verificar se o processo de coagulação-floculação/osmose inversa é capaz de reduzir a quantidade de poluentes presentes a níveis aceitáveis para o reuso em beneficiamentos têxteis. O tingimento é um dos processos industriais têxteis, mais sensível a presença de contaminações na água, isso porque os corantes podem reagir de forma imprevisível quando diluídos. Foram realizados ensaios de tingimentos em escala laboratorial na máquina de canecas, utilizando o corante reativo amarelo BG – 4G em concentração 1% s.p.m (sobre a massa do material têxtil) com NaCl 45 g/L e Na_2CO_3 8 g/L. A Figura 2 apresenta a máquina que foi utilizada para realizar o tingimento.

Figura 2 – Máquina de canecas.



Fonte: Autores (2022)

O experimento foi realizado utilizada tecido 100% algodão alvejado.

Análises físico-químicas

Para quantificar a eficiência do tratamento foi realizada uma série de análises, visando determinar os parâmetros de qualidade da água antes e após o tratamento e comparados com os valores de referência da legislação para descarte e parâmetros de qualidade para utilização na indústria têxtil. Os parâmetros avaliados foram: pH, turbidez, remoção de cor, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, condutividade elétrica e odor.

O controle de qualidade das amostras tingidas com o efluente tratado por coagulação-floculação/osmose inversa se deu por meio de análises colorimétricas em espectrofotômetro, por meio das quais foi

medida a refletância e parâmetros CieLab. Em seguida foi utilizado o *software* LibreOffice Calc para plotar os gráficos de refletância e calcular as variações de cor pelas coordenadas CieLab. Como parâmetro de qualidade para avaliar a qualidade do tingimento foi utilizada a Equação 1 para cálculo do ΔE, que representa a variação de cor, na qual L significa luminosidade, "a" significa a coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde) e "b" significa coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul).

Equação 1 – Cálculo do ΔE

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_{amostra} - L_{padrão}\right)^2 + \left(a_{amostra} - a_{padrão}\right)^2 + \left(b_{amostra} - b_{padrão}\right)^2} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Fonte: KONIKA MINOLTA (2025)

Para avaliar a qualidade do tingimento foi determinado um limite de até 1% de variação de ΔE entre as amostras tingidas com o efluente tratado e o padrão tingido com água destilada.

Resultados e Discussões

Caracterização do Efluente Bruto

O efluente têxtil gerado no Laboratório de Lavanderia da UTFPR foi caracterizado quanto aos parâmetros físico-químicos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do efluente bruto.

Parâmetro	Resultado
pH	8
Turbidez (NTU)	94
Sólidos Totais (mg/L)	780
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,807
Absorbância	0,1424
Odor	Forte

Fonte: Autores (2023)

Caracterização do Efluente Tratado

Foram avaliados os parâmetros físico-químicos do efluente tratado por coagulação/floculação e do efluente tratado no processo combinado

de coagulação/floculação e osmose inversa. Os resultados foram comparados com o Padrão Little (1975).

Tabela 2 – Caracterização dos efluentes tratados.

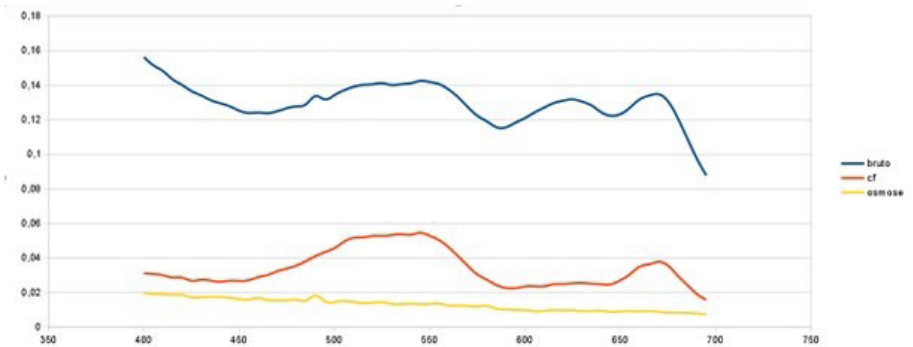
Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado por CF	Efluente tratado por CF/OI	Padrão Little (1975)
pH	8	7	7	7 – 9
Turbidez (NTU)	94	0,24	0,03	< 25
Sólidos Totais (mg/L)	780	500	60	< 500
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,807	0,528	0,081	0,1 – 0,5
Odor	Forte	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autores (2023)

Somente com a coagulação/floculação foi possível remover 35,9% de sólidos totais do efluente bruto e reduzir em 34,57% a condutividade elétrica e em praticamente 100% a turbidez. Para o processo combinado a remoção foi de 92,30% de sólidos totais e redução de 89,96% da condutividade elétrica.

A remoção de cor foi calculada a partir da comparação da curva de absorbância vs. comprimento de onda para as amostras de efluente bruto, tratado por CF e tratado por CF/OI, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Curva de absorbância vs. comprimento de onda das amostras de efluente bruto e tratado.



Fonte: Autores (2023)

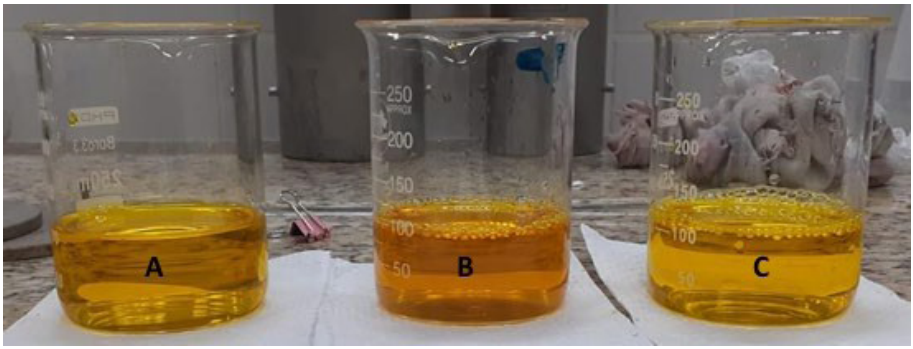
Para o cálculo da redução de cor com relação ao efluente bruto foi comparada a absorbância no comprimento de onda de máxima absor-

ção, que ocorreu em 545 nm. Assim, foi calculada uma redução de cor de 61,72% para o efluente tratado com CF e de 90,73% para o efluente tratado por CF/OI. Para a DQO houve uma redução de 68,2% para o efluente tratado com CF e de 86% utilizando a técnica combinada.

Avaliação do reuso do efluente tratado

Na Figura 4 pode-se verificar visualmente que os banhos de tingimento que foram preparados utilizando o efluente tratado pela técnica combinada (A) e o banho preparado com água destilada (C) tiveram pouca ou nenhuma variação, enquanto o banho de tingimento preparado utilizando o efluente tratado apenas pela técnica CF (B) apresentou a coloração um pouco mais escuraemrelaçãoaos outros, provavelmente pela cor residual existente após a coagulação/floculação.

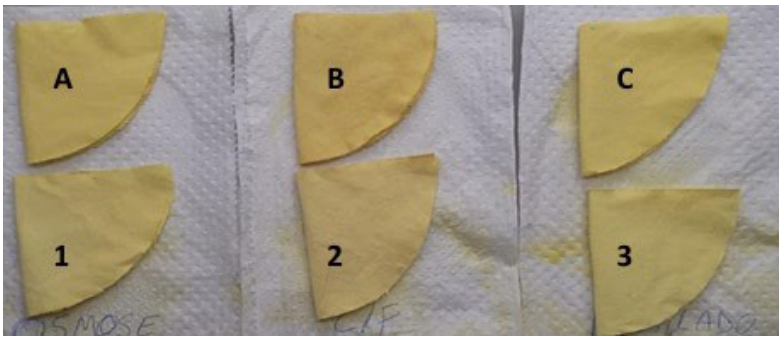
Figura 4 – Comparação dos banhos de tingimento preparados com (A) efluente tratado pela técnica combinada, (B) efluente tratado por coagulação/floculação e (C) água destilada.



Fonte: Autores (2023)

Na Figura 5 pode-se observar o resultado visual das amostras pós tingimento utilizando os banhos (A) – efluente tratado com a técnica combinada, (B) apenas com CF e (C) com padrão usando água destilada, sendo que as amostras enumeradas correspondem aos tecidos ensaboados e enxaguados pós-tingimento. A fotografia foi tirada em uma câmera de teste de correspondência de cores utilizando luz D-65.

Figura 5 – Comparação das amostras tingidas de acordo com os banhos de tingimento preparados com (A) efluente tratado pela técnica combinada, (B) efluente tratado por coagulação/floculação e (C) água destilada.



Fonte: Autores (2023)

Comparando as amostras é possível verificar que nos 3 tingimentos ocorreu fixação do corante, visto que em nenhum dos casos a diferença de cor entre antes e após o ensaboamento e enxágue é perceptível. Na Tabela 3 pode-se observar a média de 3 medições do espectrofotômetro para as coordenadas L, a e b, para cada uma das amostras de tecido tinto antes do ensaboamento e enxágue.

Tabela 3 – Medidas de espectrofotometria para cálculo do ΔE das amostras sem lavar.

Parâmetro CIELAB	**A**	**B**	**C**
L	82,28	79,75	82,87
a	-7,15	-5,41	-7,18
b	49,72	51,75	50,25
ΔE	0,79	3,89	Padrão

Fonte: Autores (2023)

Na Tabela 4 é apresentada a média de 3 medições do espectrofotômetro para as coordenadas L, a e b, para cada uma das amostras de tecido tinto após o ensaboamento e enxágue.

Tabela 4 – Med idas de espectrofotometria para cálculo do ΔE das amostras sem lavar.

Parâmetro CIELAB	**A**	**B**	**C**
L	83,38	80,81	83,28
a	-8,22	-6,59	-8,07

b	42,53	44,18	43,14
ΔE	0,64	2,83	Padrão

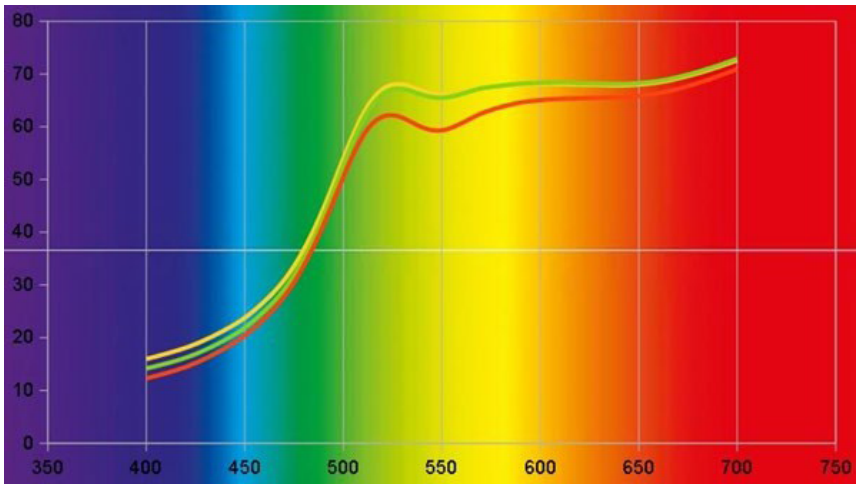
Fonte: Autores (2023)

Avaliando as Tabelas 3 e 4 é possível observar que em ambos os casos o ΔE é < 1, o que de acordo com Scacchetti (s.d.) é uma variação de cor aceitável para indústria de tingimento.

Diferente da avaliação visual onde aparentemente não houve variação de cor antes e após o ensaboamento e enxague das amostras, ao comparamos individualmente cada parâmetro das coordenadas CIELAB pode-se observar que nos 3 casos o valor de L aumentou, indicando que a cor ficou mais clara, o que significa que a exaustão do corante foi influenciada pelas características físico-químicas da água (efluente tratado) utilizada no processo.

Na Figura 6 podemos observar o comportamento da curva de refletância das amostras que passaram pelo tingimento de teste, no qual a linha amarela representa o tingimento com água destilada, a verde o tingimento com efluente pela técnica combinada e a Laranja o tingimento com efluente tratado apenas por CF.

Figura 6 – Curva de refletância vs. comprimento de onda para as amostras tingidas com água destilada (linha amarela), banho de tingimento com efluente tratado pela técnica combinada (linha verde) e banho de tingimento com efluente tratado por CF.



Fonte: Autores (2023)

No geral, o resultado do tingimento foi satisfatório e quando comparado aos parâmetros de qualidade estipulados pela indústria de tingimento não sofreria impedimento para ser comercializado.

Conclusões

A combinação das Técnicas CF e SPM por OI mostrou-se eficaz no tratamento de efluente de lavandeira industrial, nas condições deste estudo. A técnica CF sozinha apresentou redução de sólidos totais de 35,9%, além da remoção de 6g/L de sólidos em suspensão, resultando em uma redução de 68,2% diminuindo a concentração de matéria orgânica no efluente, o que possibilitou a viabilidade de aplicar o tratamento SPM por OI que não é indicado para elevadas concentração de matéria orgânica por conta do efeito de Foulling. Já ao aplicar em sequência a SPM por OI obteve-se uma redução de sólidos totais em 92,31% em relação ao efluente bruto, além da remoção de 90,72%, outra conclusão importante foi a redução da condutividade elétrica em 90%, o que indica eficiência na retenção de sólidos como cloretos, nitratos e sulfatos.

Por fim, a associação das duas técnicas de tratamento possibilitou o condicionamento do efluente ao ponto de atender os parâmetros físicos – químicos necessários para reutilização na indústria têxtil, fato esse que também fica evidente com a avaliação do tingimento realizado, onde o resultado de $\Delta E < 1\%$ é considerado aceitável dentro do controle de qualidade na indústria de tingimento.

Entretanto, aplicar essa combinação de técnicas nas condições trabalho em escala industrial nestas condições do estudo acaba sendo inviável, visto que o fluxo de efluente permeado pela membrana foi muito baixo. Para extrapolar esses resultados de eficiência para viabilidade industrial seria necessário trabalhar no desenvolvimento com uma membrana OI especifica para tratamento de efluentes, tendo maior área de contato disponível entre a membrana e o efluente, além de utilizar uma bomba de água que forneça uma pressão maior do que a utilizada nesse trabalho.

Referências

ARSLAN-ALATON I; GURSOY BH; CHMIDTJ. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v.78, n. 2, Agosto de 2008, pg. 117-130.

FERNANDES, A. K. **Reuso de água no processamento de jeans na indústria têxtil.** Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FORTINO, P. C. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

KONIKA MINOLTA SENSING AMERICAS INC. **Identifying Color Differences Using L*a*b*orL*C*H*Coordinates.**Disponívelem: https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/identifying-color-differences-using-l-a-b-or-l-c-h-coordinates/. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

LITTLE, A. H. **Water supplies and the treatment and disposal of effluents.** Textile Institute Monograph Series Number 2, The Textile Institute Manchester, 1975.

MAINARDI, P. H. Características físico-químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas de efluentes têxteis e proposta de tratamento por coagulação/floculação. 2021. 225 f. Tese de doutorado em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2021.

SALCEDO, Elena. **Moda ética para um futuro sustentável.** Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2014. 125p.

SCACCHETTI, F. A. ΔE CIELAB como parâmetro de qualidade para tingimento. S.D.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, Janeiro de 2012, pg. 154-168.

Sequência Didática como Estratégia para a Educação Ambiental

Gracijane Oliveira Galvão[1], Joseleide Teixeira Câmara[2]
[1] *Curso de Ciências Naturais Licenciatura, Universidade Estadual do Maranhão, Campus Caxias (gracijaneuema@gmail.com)*
[2] *Departamento de Química e Biologia, Universidade Estadual do Maranhão, Campus Caxias (jtcamara75@gmail.com)*

Resumo: A Sequência Didática (SD) é uma estratégia pedagógica que organiza atividades de forma estruturada e interligada, visando a aprendizagem progressiva e reflexiva dos alunos. Este trabalho apresenta a aplicação da SD como estratégia metodológica para o ensino de Educação Ambiental, com foco na construção de canteiros ecológicos em duas instituições de ensino no município de Caxias-MA: uma escola de ensino fundamental e uma instituição de ensino superior. A proposta envolveu 170 alunos e foi estruturada em cinco etapas: diagnóstico inicial, escolha dos conteúdos, pesquisa de campo, produção dos canteiros e avaliação. A metodologia buscou promover o aprendizado progressivo, crítico e participativo, integrando teoria e prática em atividades sustentáveis. Como resultados, observou-se maior engajamento dos estudantes, desenvolvimento de habilidades práticas e fortalecimento da consciência ambiental. A utilização de materiais reutilizados contribuiu para a reflexão sobre o descarte correto e a redução de resíduos sólidos, enquanto o trabalho colaborativo favoreceu a integração entre os participantes e a valorização do espaço escolar como ambiente de aprendizagem. Além das ações práticas, foi elaborada uma cartilha didática contendo orientações e sugestões para a implementação da proposta em diferentes contextos educacionais, visando apoiar professores na replicação da experiência. A cartilha representa uma contribuição concreta para superar desafios relacionados à formação docente na área ambiental. Conclui-se que a SD aliada à criação dos canteiros ecológicos é uma abordagem eficaz para o ensino da Educação Ambiental, com potencial para ser adaptada e expandida a outras realidades escolares, contribuindo com sujeitos mais conscientes, críticos e comprometidos com a sustentabilidade.

Palavras-chave: Recurso didático; canteiro; metodologia.

Didactic Sequence as a Strategy for Environmental Education

Abstract: The Didactic Sequence (DS) is a pedagogical strategy that organizes activities in a structured and interconnected way, aiming to promote progressive and reflective student learning. This work presents the application of the DS as a methodological strategy for teaching Environmental Education, with a focus on the construction of ecological garden beds in two educational institutions in the municipality of Caxias-MA: one elementary school and one higher

education institution. The project involved 170 students and was structured into five stages: initial diagnosis, content selection, field research, garden bed construction, and evaluation. The methodology aimed to foster progressive, critical, and participatory learning by integrating theory and practice through sustainable activities. As a result, increased student engagement, the development of practical skills, and the strengthening of environmental awareness were observed. The use of reused materials contributed to reflection on proper waste disposal and the reduction of solid waste, while collaborative work promoted participant integration and the enhancement of the school environment as a learning space. In addition to the practical activities, a didactic guide was created, containing instructions and suggestions for implementing the proposal in various educational contexts, aiming to support teachers in replicating the experience. The guide represents a concrete contribution toward overcoming challenges related to teacher training in the environmental field. It is concluded that the DS, combined with the creation of ecological garden beds, is an effective approach for teaching Environmental Education, with the potential to be adapted and expanded to other school settings, contributing to the development of more aware, critical, and sustainability-oriented individuals.

Key words: Didactic resource; Garden bed; Methodology.

Introdução

A sequência didática (SD) é uma metodologia que organiza atividades de ensino de maneira estruturada e articulada, com o objetivo de promover a aprendizagem de forma progressiva e reflexiva. Cabral (2017) destaca que as SD permitem a integração de três fases fundamentais: planejamento, aplicação e avaliação, garantindo uma prática docente mais organizada e eficiente. Nesse contexto, as SDs não são simples planos de aula, mas um conjunto de atividades interligadas que visam facilitar a compreensão dos conteúdos pelos alunos de forma contínua e sequencial. A grande vantagem desse modelo é que ele proporciona um ambiente mais envolvente, promovendo a interação entre professor e alunos, e entre os próprios alunos, ao longo de várias etapas de aprendizagem.

Além disso, a SD se relaciona com a necessidade de desenvolver o pensamento crítico e a reflexão sobre os conteúdos trabalhados. Segundo autores como Soares e Frenodozo (2018), a sequência didática deve ser um processo contínuo e qualitativo, que vai além das práticas de ensino, incentivando uma análise crítica sobre o meio ambiente e outros temas relevantes. Jogos e atividades práticas também são mencionados como formas de complementar o ensino teórico e aumentar o envolvimento dos alunos, como observado por Mori *et al.* (2016) e Dias *et al.* (2016). Essas abordagens tornam o aprendizado mais dinâmico e motivador,

permitindo aos estudantes explorar e aplicar os conhecimentos adquiridos de forma mais significativa.

Desse modo, a Educação Ambiental integrada a práticas pedagógicas é promovida como uma abordagem estratégica para envolver o estudante no processo de aprendizado por meio da aplicação. Hungerford e Volk (1990) comentam que a Educação Ambiental não deveria ser limitada a teoria, mas incentivada por atitudes e habilidades práticas que levem à sustentabilidade. Assim sendo, as hortas e os canteiros escolares podem ser uma prática pedagógica fundamental para promover o aprendizado ativo.

Além disso, Carson (1962) e Orr (1992) enfatizam a importância do contato direto com a natureza no processo educativo. Carson (1962) ressalta que experiências como o cultivo em canteiros despertam nos alunos um profundo respeito pelo meio ambiente, enquanto Orr (1992) defende que práticas ao ar livre são essenciais para capacitar os jovens a enfrentarem os desafios ambientais (a degradação ambiental, as mudanças climáticas, a perda da biodiversidade, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição). Essas práticas ajudam a cultivar um senso de responsabilidade ambiental, incentivando atitudes mais conscientes e sustentáveis em relação ao uso dos recursos naturais, além de desenvolver habilidades para resolver problemas complexos e interconectados. Louv (2005) reforça essa visão, destacando que a proximidade com ambientes naturais é fundamental para o desenvolvimento saudável das crianças e para a construção de uma consciência ambiental.

Neste sentido, o trabalho visa apresentar uma sequência didática aplicada de forma prática para a criação de canteiros ecológicos, com o objetivo de proporcionar uma vivência direta com a natureza, despertando nos alunos a importância da sustentabilidade. A criação de uma cartilha didática também se apresenta como uma ferramenta fundamental para auxiliar outros professores na implementação dessa abordagem em suas próprias escolas, ampliando a conscientização ambiental no contexto educacional.

Procedimento metodológico

A estratégia metodológica adotada neste trabalho consistiu na aplicação de uma sequência didática (SD) como ferramenta pedagógica para o ensino da Educação Ambiental, com foco na produção de canteiros ecológicos.

Área de estudo e Participantes

As atividades foram conduzidas em duas instituições de ensino, uma da educação básica e outra de educação superior, no município de Caxias, Maranhão. A instituição (A) refere-se à escola municipal do ensino fundamental (EF) anos finais, 6° ao 9° ano. A escola recebe aproximadamente 300 alunos por ano, funcionando nos turnos matutino e vespertino. Conta em sua estrutura com salas de aula, sala de leitura, sala de informática, diretoria, sala dos professores, cozinha, sala de Atendimento educacional especializado (AEE), banheiros, pátio coberto e área externa limitada.

E a instituição (B) refere-se à unidade de ensino superior (IES), pública, que desempenha um papel fundamental na formação de profissionais qualificados e no desenvolvimento regional, ofertando curso de graduação, pós-graduação, tecnólogos e profitec, recebendo aproximadamente 1800 alunos, funcionando nos turnos matutino, vespertino e noturno. O prédio também atende à comunidade em geral por meio de projetos de extensão, cursos e iniciativas voltadas para o desenvolvimento social, cultural e econômico da região, promovendo a inclusão e o acesso ao conhecimento. A instituição possui diversos espaços de vivência, como: laboratórios de biologia, química, física, matemática, multidisciplinar e pesquisas, biblioteca, cantina, sala da pós-graduação, salas de aula e departamentos, auditório, jardins externos e estacionamento.

Estiveram envolvidos na realização das atividades todos os alunos do turno matutino da escola de ensino fundamental, bem como os estudantes de graduação em Ciências Biológicas – Licenciatura, nos espaços A e B, respectivamente.

Estrutura da Sequência didática

A estrutura da sequência didática é fundamental para o planejamento eficaz das atividades educacionais. Para isso, adotamos componentes essenciais que nos ajudam a atingir a meta: 1) Avaliação do conhecimento prévio e apresentação do tema, que tem por objetivo identificar qual conhecimento o aluno tem sobre o tema que será trabalhado, no caso “Educação Ambiental sustentável”. Em seguida, realizamos uma palestra para apresentar o projeto a escola. 2) Escolha dos conteúdos, cada turma ficou responsável por produzir um produto para o canteiro, logo como trabalharíamos cada conteúdo com a turma, para aprofun-

dar a familiaridade com o assunto. 3) Pesquisa de campo, por meio da observação direta da natureza ou de oficinas sustentáveis a fim de trabalhar a reflexão e pensamento crítico dos alunos, visitamos o espaço escolar, observação no caminho de casa, em casa, oficinas e feiras sustentáveis. 4) Produção dos canteiros, após se familiarizar com o tema, partimos para a parte prática do trabalho, a confecção dos canteiros, onde selecionamos os espaços que seriam transformados, as espécies de plantas que seriam utilizadas, quais materiais seriam reutilizados e como consegui-los e por fim o preparo do adubo e plantio. 5) Avaliação, ocorreu durante todo o processo de produção da sequência didática de forma qualitativa e quantitativa.

Foi elaborada uma cartilha com a descrição detalhada da sequência didática (SD), resultado do acúmulo de conhecimentos adquiridos por meio de pesquisa bibliográfica e das experiências desenvolvidas durante as atividades. Seu objetivo é subsidiar o trabalho docente em diferentes níveis de ensino formal, podendo ser adaptada desde o ensino fundamental até o ensino superior.

O texto foi inicialmente produzido em formato ".doc" e posteriormente editado na plataforma Canva, uma ferramenta de design gráfico que facilita a criação de diversos materiais visuais de forma intuitiva. As ilustrações utilizadas foram obtidas no banco de imagens da plataforma, em arquivos pessoais e em sites, sempre com a devida citação da fonte quando necessário.

Resultados e discussão

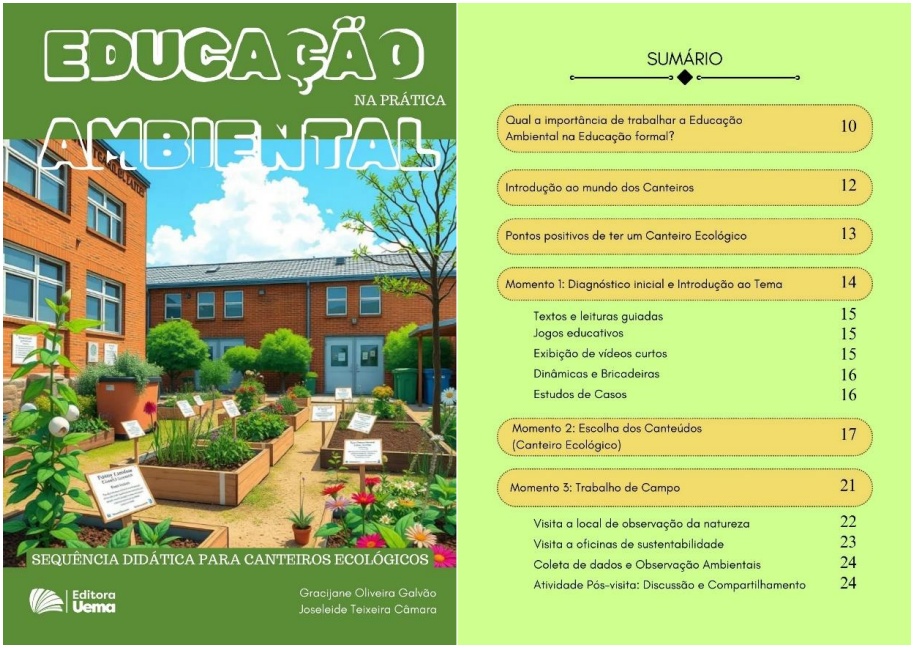
A aplicação da sequência didática na instituição A, trabalhamos com 121 alunos do turno matutino (6° ano ao 9° ano), o que permitiu que os alunos desenvolvessem uma compreensão mais profunda sobre a educação ambiental e práticas sustentáveis. A produção do canteiro suspenso, utilizando materiais reutilizados, plantas medicinais e ornamentais, resultou em um espaço escolar mais verde e criativo, promovendo o aprendizado prático e a reflexão sobre a reutilização de materiais e descarte adequado desses materiais. A experiência contribuiu para a conscientização ambiental, ao mesmo tempo que estimulou a criatividade e o trabalho colaborativo em anos diferentes. Além disso, o processo fortaleceu a relação dos alunos com o meio ambiente e a compreensão da importância de práticas sustentáveis para a preservação local.

Por outro lado, a aplicação da sequência didática com os alunos da universidade, contou com a colaboração de 49 alunos do curso de ciências biológicas licenciatura, possibilitou uma abordagem mais técnica e científica para a produção do canteiro comunitário. Os alunos participaram ativamente da escolha dos materiais, como estantes de ferro e formas dos vasos de garrafa, e da definição das espécies plantadas, que variaram entre frutíferas, medicinais e hortaliças. A colaboração com a comunidade local, que doou plantas para o projeto, reforçou a importância da interação entre universidade e sociedade na promoção de ações sustentáveis. Além disso, o projeto proporcionou aos alunos da instituição B uma vivência prática e aplicada dos conceitos estudados, ampliando suas habilidades em sustentabilidade e trabalho em equipe.

O planejamento antecipado permitiu que as etapas da sequência didática fossem seguidas de forma organizada, garantindo que os objetivos de aprendizagem fossem alcançados dentro do prazo estabelecido. Os alunos conheciam os próximos passos junto aos professores, fazendo com que a execução das atividades fosse mais fluida e eficiente. Além disso, essa organização facilitou a adaptação das atividades às diferentes realidades dos espaços educacionais, assegurando que os recursos disponíveis fossem bem aproveitados e que as atividades práticas, como a produção dos canteiros ecológicos, fossem realizadas de forma eficaz. Dessa maneira, o planejamento não apenas contribuiu para a eficiência do processo, mas também fomentou uma maior integração entre os envolvidos, favorecendo a cooperação e o aprendizado conjunto.

A produção da cartilha didática documenta todo o processo de desenvolvimento da sequência didática, é um dos principais resultados do trabalho. Intitulada “Educação Ambiental na prática: cartilha em Sequência Didática para canteiros ecológicos”, contém 70 páginas e constitui um material bibliográfico completo para orientar atividades de Educação Ambiental com instruções e sugestões para a criação de canteiros ecológicos dentro do espaço da educação formal, a partir de experiências vivenciadas (Figura 1).

Figura 1 – Layout da Cartilha Educação Ambiental na prática: Cartilha em sequência didática para canteiros ecológicos, representando a capa (A), sumário (B).



Fonte: Autores, 2025.

A cartilha serve como recurso pedagógico que pode ser utilizado por professores de diferentes níveis de ensino (fundamental ao superior), oferecendo uma estrutura clara para a implementação de atividades de educação ambiental através da produção de canteiros ecológicos. Ela contém orientações sobre planejamento, execução e avaliação de atividades sustentáveis, além de ser um material visualmente acessível.

A cartilha está dividida em momentos, e cada um apresenta instruções e sugere atividades a serem realizadas. O momento 1 (Diagnóstico inicial e Introdução ao tema), sugere formas de abordagem aos alunos para o primeiro contato com EA. O momento 2 (Escolha dos Conteúdos), sugere a divisão dos discentes em grupos para discutir temas que tenham relação com o meio ambiente para troca de ideias coletivas. O momento 3 (Trabalho de campo), induz a observação e ao pensamento crítico, logo a ideia de observar a natureza por si só já os torna curiosos, permitindo a criação de soluções reais para problemas reais. O momento 4 (Projeto prático), é dividido em sub-momentos desde a escolha dos espaços, materiais, preparo correto do solo e técnicas para o plantio,

levando em consideração o cenário escolhido. E por fim, o momento 5 (Reflexões e avaliação), sugere formas de avaliar o processo da sequência didática em EA, finalizando com reflexões de questões ambientais, do próprio canteiro ou da realidade ali vivenciada. A cartilha contém 11 opções de materiais suplementares para o professor (Figura 2). A cartilha completa está disponível no link (https://drive.google.com/drive/folders/1OG4aAYPZsP1pRSRotIdl7vh7ZLpifKb7?usp=sharing).

Figura 2 – Organização da Cartilha Educação Ambiental na Prática, dividida em seção que determinam momentos diferentes da sequência didática A. B. C. D. E e F.



Fonte: Autores, 2024.

A principal função da educação ambiental é ajudar as pessoas a se conscientizarem sobre os problemas ambientais, para que possam adotar comportamentos mais sustentáveis (Costa Silva *et al.*, 2022). Nesse processo, é essencial que as atividades sejam realizadas coletiva-

mente, incentivando o pensamento colaborativo e o aprendizado mútuo (Soares e Frenodozo, 2018). O conhecimento é mais valioso quando construído em grupo, pois compartilhamos o que sabemos e aprendemos com os outros (Costa Silva *et al.*, 2022).

No entanto, o ensino de educação ambiental ainda enfrenta obstáculos, como a formação deficiente de professores, que frequentemente abordam o tema de forma fragmentada e sem a devida interdisciplinaridade (Andrade e Garcia; Oliveira, 2023; Costa e Costa, 2024). A cartilha desenvolvida a partir deste estudo visa suprir essa lacuna, oferecendo um recurso acessível que pode ser utilizado por professores de todas as áreas, independentemente de sua formação, para incorporar práticas ambientais em suas aulas (Joaquim, 2021).

Os estudos indicam que trabalhar com estratégias ativas, como a sequência didática, melhora o processo de aprendizado. Pois incentivam uma maior participação dos alunos e promovem uma compreensão mais sólida dos conteúdos trabalhados (Costa *et al.*, 2019). Além disso, as sequências didáticas estimulam o interesse e a motivação dos estudantes, ao mesmo tempo em que contribuem para o desenvolvimento de habilidades críticas e reflexivas (Oliveira, 2023).

Conclusões

A sequência didática aplicada neste estudo demonstrou ser uma ferramenta eficaz para integrar a Educação Ambiental ao cotidiano escolar, promovendo o aprendizado ativo, colaborativo e consciente. Os resultados evidenciam o potencial da proposta para ser adaptada e implementada em diferentes contextos educacionais, desde que respeitadas as particularidades de cada realidade. A cartilha produzida serve como apoio prático e acessível para educadores, incentivando a replicação da experiência. Para ampliar os impactos, recomenda-se a continuidade do projeto com avaliações periódicas, permitindo o aprimoramento da metodologia e a verificação e seus efeitos a médio e longo prazo. Dessa forma, reforça-se a importância de incorporar práticas pedagógicas sustentáveis como estratégias permanentes no processo educativo.

Referências

ANDRADE, E. da S.; GARCIA, P. H. M. Educação ambiental nos anos iniciais do ensino fundamental: desafios para a formação comprometida com o meio ambiente. Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável ISSN 2764-6769 – volume 2, número 7, 2023.

CABRAL, N. F.; Sequências didáticas: estrutura e elaboração /Belém: SBEM / SBEM-PA, 2017. 104 p. Bibliografia ISBN 978-85-98092-34-8.

CARSON, R. (1962). Primavera Silenciosa. Publicado pela Houghton Mifflin.

COSTA, M. S. M. da; COSTA, A. P. L.; A importância da Educação Ambiental dentro do Ambiente escolar. v. 4 n. 1, 2024, Revista Brasileira de Gestão Negócio e Tecnologia da Informação. DOI: https://doi.org/10.15628/empricabr.2024.14412.

COSTA, M.; MINEU, H. F. S.; ARAUJO, A. A. C.; VENTURA, M. V. A.; et al; Jardim vertical e

horta como ferramenta de Educação Ambiental em escola em Ituiutaba-MG. Revista Científica Rural, Bagé-RS, volume21, nº2, ano 2019. Doi: https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2649.

COSTA SILVA, T.; SILVA, L.; CARVALHO, S.; et al; 2022. Jardins sustentáveis: um recurso para educação ambiental em escolas públicas municipais em Caxias-MA, Brasil. Research, Society and Development. 11. e264111537076. 10.33448/rsd-v11i15.37076.

DIAS, N.; PEREIRA, F.; ROSALEN, M.; Utilização de jogo digital na aprendizagem de ciências: influência na memória e na cognição. Cadernos de Educação, v.15, n.30, p.79-92, jan-jul, 2016.

JOAQUIM, A. M.; Cartilha de Educação Ambiental como instrumento facilitador do pensar Educação Ambiental em escolas de ensino fundamental do município de Duque de Caxias, 2021. TCC – Instituto Federal do Rio de Janeiro. Duque de Caxias, 2021.

HUNGERFORD, H. R.; VOLK, T. L. Changing learner behavior through environmental education. The Journal of Environmental Education, v. 21, n. 3, p. 8-21, 1990. DOI: 10.1080/00958964.1990.10753743.

LOUV, R.; Last Child in the Woods: Saving Our Children from Nature-Deficit Disorder. Publicado pela Algonquin Books. 2005.

MORI, M. da S.; CABÚS, R. S.; FREITAS, S. R. S.; Sequência didática sobre Educação ambiental: uma abordagem metodológica alternativa para o ensino sobre a poluição atmosférica. Cadernos de Educação, v.15, n. 31, jul.-dez. 2016.

OLIVEIRA, A. N. S.; Práticas de Educação Ambiental na construção de escolas sustentáveis. 2023. Revista Educação Ambiental em Ação (Nº 82).

ORR, D. W. (1992). Ecological Literacy: Education and the Transition to a Postmodern World. Publicado pela State University of New York Press.

SOARES, M. B.; FRENEDOZO, R. de C.; Sequência Didática para inserção da Educação Ambiental no ensino fundamental. Rev. Triang. Uberaba, MG v.11 n.1 p.196 – 211 jan./abr. 2018 ISSN 21751609.

Análise da conservação de trechos urbanos do Arroio Duro na cidade de Camaquã/RS

Alice Silveira Lopes[1], Camila Ferraz Corrêa[2], Luciana Rodrigues Nogueira [3], Matteo Trescastro Zenker[4]
[1]*Instituto Federal Sul Riograndense Campus Camaquã (alicelopes.cm040@academico.ifsul.edu.br)*
[2]*Instituto Federal Sul Riograndense Campus Camaquã (camilacorrea@ifsul.edu.br)*
[3]*Instituto Federal Sul Riograndense Campus Camaquã (lucianangueira@ifsul.edu.br)*
[4]*Instituto Federal Sul Riograndense Campus Camaquã (matteotzenker@gmail.com)*

Resumo: A preservação de arroios urbanos é essencial para a qualidade de vida da comunidade e a saúde do ecossistema local, pois desempenham um papel importante na biodiversidade, qualidade da água, controle de enchentes e erosão do solo, além de fornecer áreas verdes para lazer. A vegetação ciliar, que cresce ao redor dos arroios, é crucial para proteger a água, prevenir a erosão e fornecer habitat para diversas espécies. No entanto, atividades humanas, como o descarte irregular de resíduos e a urbanização desordenada, podem comprometer esses ecossistemas. No contexto do Arroio Duro em Camaquã/RS, o projeto visa avaliar a situação atual do arroio, utilizando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) adaptado, além de análises físico-químicas da água. A pesquisa busca identificar os principais fatores de degradação e propor estratégias sustentáveis de manejo, com a participação da comunidade local. Os resultados indicam que, apesar da boa qualidade da água, há variações significativas entre os pontos de coleta, apontando a necessidade de intervenções. Para melhorar as condições do arroio, é importante promover a limpeza, restaurar a vegetação nativa e realizar campanhas educativas. Essas ações integradas podem contribuir para a preservação e recuperação do ecossistema aquático, beneficiando tanto a comunidade quanto o meio ambiente.

Palavras-chave: Preservação. Arroio. Urbanização.

Analysis of the conservation of urban stretches of Arroio Duro in the city of Camaquã/RS

Abstract: The preservation of urban streams is essential for the quality of life in the community and the health of the local ecosystem, as they play a crucial role in biodiversity, water quality, flood control, and soil erosion, in addition to providing green spaces for recreation. Riparian vegetation, which grows along streambanks, is vital for protecting water quality, preventing erosion, and providing habitats for diverse species. However, human activities, such as improper waste disposal and unplanned urbanization, can compromise these ecosystems. In the case of Arroio Duro in Camaquã/RS, the project aims to assess the current condition of the stream using the adapted Rapid River Assessment Protocols (RAP), alongside physical-chemical water analyses.

The study seeks to identify the main factors of degradation and propose sustainable management strategies, involving active participation from the local community. The results show that, despite the generally good water quality, significant variations exist between collection points, highlighting the need for targeted interventions. To improve the stream's condition, it is crucial to promote cleaning efforts, restore native vegetation, and implement educational campaigns. These integrated actions can significantly contribute to the preservation and recovery of the aquatic ecosystem, benefiting both the community and the environment.

Key words: Preservation. Stream. Urbanization.

Introdução

A preservação de arroios em áreas urbanas, é fundamental para a qualidade de vida da comunidade e para a saúde do ecossistema local. A preservação do arroio é crucial para manter a biodiversidade local, garantir a qualidade da água e proteger os ecossistemas associados a ela. Além disso, a conservação do arroio ajuda a prevenir enchentes, controlar a erosão do solo e proporcionar benefícios para a comunidade, como áreas verdes para lazer. A mata ciliar presente ao redor do arroio desempenha um papel fundamental na conservação e na saúde dele. Essa vegetação nativa que cresce ao redor das margens dos cursos d'água é essencial para proteger a qualidade da água, prevenir a erosão do solo e fornecer habitat para diversas espécies de plantas e animais. A presença da mata ciliar ajuda a filtrar poluentes, reduzir a entrada de sedimentos no arroio e manter a temperatura da água em níveis adequados para a vida aquática. Além disso, a vegetação ciliar contribui para a estabilidade das margens, evitando processos erosivos e ajudando a controlar enchentes.

Ao analisar a conservação desse arroio, é crucial considerar os impactos das atividades humanas, como o despejo de resíduos e a urbanização desordenada, que podem comprometer a qualidade da água e a biodiversidade do local. Pandolfo, Mascaró e Morsch (2017), realizaram um estudo sobre sustentabilidade urbana, e recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde, na cidade de Passo Fundo (RS) e obtiveram resultados que mostram que espaços naturais que foram um dia degradados, podem voltar a sua biodiversidade e um estado muito parecido com o original, trazendo benefícios à cidade em teor ecológico e humano. A infraestrutura verde é fundamental para o desenvolvimento urbano, já que regula fatores térmicos e acústicos, trazendo mais conforto, aumenta a permeabilidade do solo impedindo

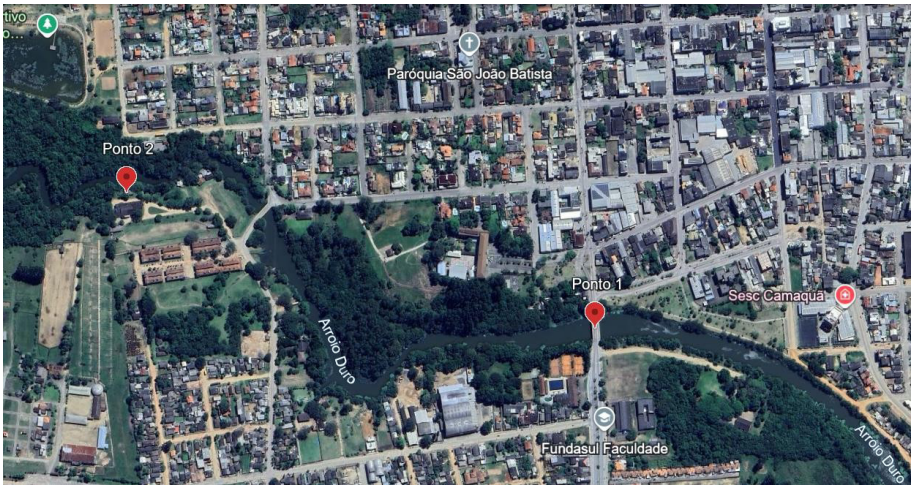
alagamentos, coopera na diminuição do C)2 atmosférico e embeleza a cidade. Quevedo, Etchelar e Belloli (2014) fizeram o mapeamento do uso e ocupação do solo do Arroio Barnabé em Gravataí (RS) e verificaram que as áreas analisadas não têm sido respeitadas conforme sua exigência, contendo vários exemplos de falta de fiscalização: grandes áreas edificadas, depósitos de resíduos e solos pavimentados irregularmente. Eles sugerem que um planejamento estratégico deve ser realizado englobando tanto o poder municipal quanto a comunidade. Callisto (2002) desenvolveu uma metodologia de avaliação ambientes naturais baseado em um protocolo de avaliação rápida que compreende diversos aspectos avaliados in loco no ambiente, estas características são avaliadas e os trechos com maior preservação recebem a nota de 4 pontos, e os trechos menos conservados recebem a nota de 0. No final as notas de cada aspectos são somadas, de 0 a 40 pontos a área é considerada "impactada", de 41 a 60 pontos é considerada "alterada" e acima de 61 pontos ela é considerada "natural". Lopes (2015) fez uma análise sobre o quanto a Bacia Hidrográfica do Camaquã-RS estaria vulnerável à erosão natural como subsídio ao planejamento ambiental, e chegou ao resultado de que a área de estudo não é considerada estável, tendo 82% ditas medianamente estáveis/vulneráveis e já estão em transição para se tornarem vulneráveis, e 52% da totalidade da área já é considerada medianamente vulnerável.

Neste projeto, propomos investigar de forma detalhada a situação atual do arroio Duro na zona urbana na cidade de Camaquã/RS, utilizando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), metodologia adaptada de Callisto *et al.* (2002), além de análises fisico-químicas da água, de modo a verificar a qualidade, identificar os principais fatores de erosão e degradação, desenvolver estratégias eficazes de conservação, envolvendo a participação ativa da comunidade local e a implementação de práticas sustentáveis de manejo ambiental. Através desse trabalho, buscamos não apenas proteger o arroio, mas também promover a conscientização ambiental e a valorização dos recursos naturais presentes na região de Camaquã.

Metodologia

Para objeto deste estudo, foram coletados dados de trechos urbanos do arroio Duro, na cidade de Camaquã/RS, identificados abaixo:

Figura 1 – Denominação dos pontos de análise



Fonte: Google Earth

Tabela 1 – Identificação dos Locais de Amostragem

Local	**Ponto 1**	**Ponto 2**
	Arroio Duro – Faixinha	Arroio Duro – CTG
Coordenadas geográficas	-30.856432, -51.815600	-30.855238, -51.821874
Data da Amostragem	29/10/2024	29/10/2024
Tipo de Ambiente	**Arroio**	**Arroio**
Largura	Aproximadamente 47 metros	Aproximadamente 35 metros
Profundidade	Aproximadamente 2 metros	Aproximadamente 3 metros

Fonte: autores (2024)

Para avaliar pontos de erosão foi realizado registro fotográfico, e a realização do Protocolo Rápido de Avaliação (PAR). A flexibilidade do PAR, que permite a análise de múltiplos indicadores ambientais de forma integrada, combinada com sua facilidade de aplicação, torna-o adequado para este estudo (Boás, 2024). De acordo com Callisto et al (2002), o protocolo é composto por parâmetros independentes entre si que avaliam as condições ecológicas do ecossistema, aplicando uma pontuação entre elas. As pontuações finais refletem qual nível de preservação ela se encontra, e quais impactos são observados. Valores

maiores indicam que há trechos impactados, da mesma forma que menores valores indicam que ainda há naturalidade no ecossistema. Para o presente estudo, o protocolo foi adaptado de maneira a identificar melhor as necessidades ambientais da área, conforme tabela a seguir:

Tabela 2 – Parâmetros utilizados para realização do Protocolo Rápido de Avaliação (PAR)

PARÂMETROS	4 PONTOS	2 PONTOS	0 PONTOS
1.Tipo de ocupação das margens	Vegetação natural	Campo de pastagem/ agricultura	Residencial/ comercial /indústrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
3. Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto)	Alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, indústria)
4. Odor da água	Nenhum	Ovo podre	
5. Existe oleosidade na água?	Não	Moderada	Abundante
6. Transparência da água	Transparente	Cor de chá	Colorida/ opaca/leitos a
7. Tipo de fundo	Pedras/cascalho	Lama/areia	Cimento/ canalizado
8. Presença de mata ciliar	Entre 70-90%	Entre 50-70%	Menor que 50%

Fonte: Adaptado de Callisto *et al.* (2002)

Além do uso do protocolo PAR, foram coletadas amostras de água de ambos os pontos para a realização de análises físico-químicas. As análises foram realizadas no Laboratório do Curso Técnico em Controle Ambiental do IFSul, Campus Camaquã. Os parâmetros analisados incluíram turbidez, sólidos dissolvidos totais (TDS), pH e oxigênio

dissolvido, utilizando os equipamentos do Laboratório e seguindo a metodologia descrita no *Standard Methods*.

Resultados e Discussão

A partir da observação fotográfica e preenchimento do PAR nos dois pontos urbanos do Arroio Duro, verifica-se no ponto 2 uma erosão bem acentuada nas margens, o que não apenas compromete a estabilidade da estrutura da ponte e das casas que existem na margem, mas também pode levar a problemas ambientais significativos. A escassez de vegetação nas proximidades é alarmante, com apenas 50% de cobertura de mata ciliar. Essa falta de vegetação é crítica, pois a mata ciliar desempenha um papel fundamental na proteção das margens dos rios, ajudando a estabilizar o solo e a prevenir a erosão. Sem essa proteção natural, o solo fica mais vulnerável à ação das águas, especialmente durante chuvas intensas, aumentando o risco de deslizamentos e degradação do habitat. Em contraste, o ponto 1 apresenta um cenário mais positivo.

Quadro 1 – Registro Fotográfico e identificação dos Pontos para análise

Ponto 1	**Ponto 2**
	



Fonte: os autores (2024)

Embora a erosão seja classificada como moderada, a presença de mata ciliar é significativamente maior, variando entre 70% a 90%. Essa cobertura vegetal robusta contribui para a proteção das margens do rio, reduzindo a força das correntes de água que podem desgastar o solo. Além disso, a vegetação ciliar oferece um habitat importante para diversas espécies de fauna e flora, promovendo a biodiversidade local. A presença de árvores e arbustos também ajuda a filtrar poluentes, melhorando a qualidade da água e criando um ecossistema mais saudável.

A diferença entre as duas localidades ressalta a importância da conservação da mata ciliar e das práticas de manejo sustentável. Enquanto o ponto 2 enfrenta desafios significativos que podem resultar em consequências ambientais e estruturais sérias, o ponto 1 exemplifica como uma boa cobertura de vegetação pode ajudar a mitigar a erosão e preservar a integridade do ecossistema. Investir na recuperação e na proteção da mata ciliar nas áreas afetadas é essencial para garantir a saúde ambiental e a segurança das infraestruturas ao longo dos rios.

Tabela 2 – Pontuação do Protocolo Rápido de Avaliação (PAR)

	Parâmetros								
Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	**Total**
1	4	2	2	4	2	2	2	4	24
2	4	0	2	2	4	2	2	0	16

Fonte: autores.

Ao analisar a água destes dois trechos analisados do Arroio Duro, localizados em áreas urbanas, apresentam uma significativa influência da urbanização. O ponto 2, por exemplo, exibe um odor forte de ovo podre, resultado do esgoto doméstico que é despejado nas proximidades, resultado da cidade não possuir coleta e tratamento adequados. Essa situação não apenas compromete a qualidade do ar, mas também afeta a saúde dos ecossistemas aquáticos locais. Além disso, ambos os trechos estão rodeados por resíduos, que se acumula nas margens, contribuindo para a degradação ambiental e agravando a erosão do solo.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros físico-químicos

	Parâmetros						
Pontos	**Turbidez**	**OD**	**pH**	**Condutividade**	**Salinidade**	**T**	**Sólidos Dissolvidos Totais**
1	74 NTU	11,51 mg/L	6,8	2,3 mS/cm	1,17	24,8	1,5
2	64,7 NTU	11,37 mg/L	6,4	2,4 mS/cm	1,20	24,8	1,6

Fonte: autores.

De acordo com a tabela acima, no ponto 1 a turbidez encontrada foi de 74 NTU, enquanto no ponto 2 foi de 64,7NTU. Esses valores indicam que a água no ponto 1 apresenta maior turbidez em comparação com o ponto 2, o que pode sugerir uma maior quantidade de partículas suspensas ou poluentes. Outros elementos também influenciam na variação da turbidez, como ocorre em outras regiões, de acordo com Loch e Brentano (2020), onde a presença de matas ciliares bem conservadas ajuda a absorver parte do escoamento superficial, contribuindo para o controle da turbidez da água. Logo, podemos constatar que a mata ciliar nesses locais regula a turbidez encontrada.

O oxigênio dissolvido é um indicador crucial da qualidade da água, pois é essencial para a vida aquática. O ponto 1 apresentou 11,51 mg/L, e o ponto 2, 11,37 mg/L. Ambos os pontos apresentam níveis adequados de oxigênio, indicando um ambiente propício para a fauna aquática.

O pH da água é um fator importante que afeta a solubilidade de nutrientes e a toxicidade de poluentes. Nos dois pontos, foram obtidos valores aproximados, 6,8 e 6,4 respectivamente. Os valores estão dentro da faixa considerada ideal para a maioria dos organismos aquáticos, que varia de 6 a 8,5. A condutividade da água, que indica a presença de íons e a salinidade foi semelhante para os dois pontos (2,3 mS/cm e 2,4 mS/cm), sugerindo que a quantidade de sais dissolvidos na água é similar em ambos os pontos.

A salinidade, que mede a concentração de sais na água, foi de 1,17 no ponto 1 e 1,20 no ponto 2. Novamente, os valores são próximos, indicando que não há grandes variações na salinidade entre os dois locais. A temperatura da água foi idêntica em ambos os pontos, com 24,8 graus Celsius. A temperatura é um fator que pode influenciar a solubilidade do oxigênio e a atividade biológica na água.

O total de sólidos dissolvidos, que representa a quantidade de substâncias dissolvidas na água, foi de 1,5 g/L par ao ponto 1 e 1,6 g/L no ponto 2. Esses valores são bastante próximos e indicam que a água em ambos os locais possui uma concentração similar de sólidos dissolvidos. Em resumo, a análise da água no Arroio Duro revela que, embora existam algumas diferenças nos parâmetros entre os dois pontos, ambos apresentam características que são geralmente favoráveis à vida aquática. Em resumo, o ponto 1 apresenta maior turbidez e um leve aumento no oxigênio dissolvido e pH, enquanto o ponto 2 apresenta uma turbidez ligeiramente menor e uma concentração um pouco maior de sólidos dissolvidos. Essas informações são fundamentais para monitorar a saúde do ecossistema aquático e podem ser utilizadas para futuras avaliações e intervenções ambientais.

Conclusão

A análise da qualidade da água no Arroio Duro revelou que, de maneira geral, os parâmetros físico-químicos analisados são favoráveis à vida aquática. No entanto, foram observadas diferenças significativas entre os dois pontos de coleta, especialmente em relação à turbidez, oxigênio dissolvido e pH. A maior turbidez verificada no ponto 1 pode

indicar um maior volume de partículas suspensas ou poluentes, o que pode comprometer a qualidade da água e a saúde dos organismos aquáticos. O aumento do oxigênio dissolvido e do pH na mesma localidade pode ser um reflexo de maior atividade biológica e/ou maior presença de nutrientes.

Em síntese, os resultados sugerem que o Arroio Duro apresenta boa qualidade de água, embora com variações notáveis entre os pontos de coleta. Essas informações são essenciais para o monitoramento e a gestão ambiental do ecossistema aquático, podendo servir como base para futuras avaliações e intervenções. A restauração da vegetação nativa nas margens é igualmente essencial, pois ela contribui para a estabilização do solo e a filtragem de poluentes. Por fim, a realização de campanhas educativas sobre preservação ambiental pode engajar a comunidade e fortalecer o senso de responsabilidade coletiva em relação aos recursos naturais. Quando implementadas de forma integrada, essas ações podem contribuir de maneira significativa para a recuperação e preservação dos trechos do Arroio Duro. Para trabalhos futuros, recomenda-se o monitoramento contínuo da qualidade da água em diferentes períodos do ano, visando identificar variações sazonais e suas causas. Também seria relevante ampliar o número de pontos de coleta ao longo do curso do arroio, bem como investigar a presença de contaminantes específicos, como metais pesados e pesticidas. Tais estudos poderão subsidiar políticas públicas mais direcionadas e eficazes, além de contribuir para o planejamento de ações integradas voltadas à conservação dos recursos hídricos da região.

Referências

BELLOLI, T. F.; ETCHELAR, C. B.; QUEVEDO, R. P; Mapeamento de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente como auxílio para estudo de renaturalização ambiental do Arroio Barnabé-Gravataí/RS. In: Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales, VI., 2014, São Paulo. **Artigos Congreso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales**… São Paulo: Unioeste, 2014. p. 1-19.

BÔAS, G. Avalição do nível de preservação ambiental do rio Sorocaba: o uso do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) como insumo para gerenciamento de recursos hídricos. 2025. 46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2024

CALLISTO, M., FERREIRA, W., MORENO, P., GOULART, M. D. C. & PETRUCIO, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da

diversidade de hábitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**. 14(1): 91 – 98.

LOCH, J.; BRENTANO, D. M. Influência da precipitação na turbidez das águas dos rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço/SC: Uma análise para gestão de Estação de Tratamento de Água. **Geosul**, v. 35, n. 76, p. 277–297, 27 out. 2020.

LOPES, M. S.; Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã – RS. In: Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, 2015, Porto Alegre. Artigos Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre, UFRGS-RS, 2015. p. 1-110

MORSCH, M. R. S.; MASCARÓ, J. J.; PANDOLFO, A. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 305-321, out./dez. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400199

Modelagem e Otimização Matemática em uma Unidade Agropecuária no Oeste Paraibano

André Sandmann[1], Marcos Roberto Portolan[2], Juliano Triacca[3], Fabiana Costa de Araujo Schütz[4]

[1, 4] *Docente PPGTCA /Universidade Tecnológica federal do Paraná UTFPR (sandmann@utfpr.edu.br, fabianaschutz@utfpr.edu.br)*

[2, 3] *Discente PPGTCA /Universidade Tecnológica federal do Paraná UTFPR (mportolan@utfpr.edu.br, jtriacca@utfpr.edu.br)*

Resumo: O presente estudo teve como propósito desenvolver um modelo matemático para uma pequena unidade de produção agropecuária localizada no oeste paraibano, visando maximizar o desempenho econômico. O avanço tecnológico e científico acelerado das últimas décadas permitiu a criação de softwares especializados na modelagem e resolução de problemas de otimização. Essas ferramentas têm se tornado fundamentais no suporte à tomada de decisões na gestão operacional. O estudo foi realizado em uma propriedade rural situada na zona interiorana do município de Alagoa Nova, Paraíba. Para isso, foi essencial compreender a dinâmica do sistema produtivo agropecuário da propriedade, por meio da aplicação de entrevistas, questionários e estimativas de custos. Esse processo possibilitou a coleta de dados fundamentais para a investigação e análise da unidade produtiva, culminando na formulação de um modelo matemático que gerou alternativas de desenvolvimento alinhadas à realidade da propriedade rural. Com base nos dados levantados, foram efetuados cálculos econômicos utilizando o software LINGO, levando em consideração a ingestão de volumoso pelo rebanho bovino da unidade. Foram estabelecidas restrições técnicas, financeiras, de área e de mão de obra. Os resultados demonstraram que a modelagem matemática é uma ferramenta eficiente, pois viabiliza a análise de sistemas complexos, permitindo a simulação de diferentes cenários e a avaliação das possíveis implicações das decisões tomadas. Além disso, contribui para a redução de riscos, otimização do uso de recursos naturais e insumos, minimização de desperdícios e maximização da produtividade. Essa abordagem favorece a eficiência econômica e incentiva práticas agrícolas mais sustentáveis. O estudo colabora para o aprimoramento das técnicas de otimização aplicadas à gestão agropecuária.

Palavras-chave: Modelagem Matemática; Sistema Produtivo; Bovinocultura de Corte; Proteína Animal e Vegetal.

Mathematical Modeling and Optimization in an Agricultural Unit in Western Paraíba

Abstract: This study aimed to develop a mathematical model for a small agricultural production unit located in western Paraíba, with the objective of maximizing economic performance. The rapid technological and scientific advancements of recent decades have enabled the development of specialized software for modeling and solving optimization problems. These tools have become essential in supporting decision-making in operational management. The study was conducted on a rural property in the interior region of Alagoa Nova, Paraíba. To achieve this, it was crucial to understand the dynamics of the property's agricultural production system through interviews, questionnaires, and cost estimates. This process allowed for the collection of essential data for investigating and analyzing the production unit, leading to the formulation of a mathematical model that generated development alternatives adapted to the rural property's reality. Based on the collected data, economic calculations were performed using the LINGO software, considering the forage intake of the cattle herd. Technical, financial, land area, and labor constraints were established. The results demonstrated that mathematical modeling is an efficient tool, as it enables the analysis of complex systems, allowing for scenario simulations and the assessment of potential decision-making consequences. Additionally, it contributes to risk reduction, optimization of natural resources and inputs, waste minimization, and productivity maximization. This approach enhances economic efficiency and promotes more sustainable agricultural practices. The study contributes to the improvement of optimization techniques applied to agricultural management.

Key words: Mathematical modeling; production system; beef cattle farming; animal and plant protein.

Introdução

A estimativa do crescimento populacional é de alcançar 9,7 bilhões de pessoas em 2050, antes de atingir o pico de cerca de 10,4 bilhões durante a década de 2080, o que impulsiona o setor agropecuário a aumentar sua produtividade em busca de garantir a segurança alimentar global (ONU, 2022).

A produção agropecuária nacional é estratégica para a segurança alimentar mundial, a geração de biocombustíveis e o uso na indústria farmacêutica, além de contribuir para a economia interna e de exportação, destacando o país como uma das maiores potências agrícolas, diante dos excelentes resultados no agronegócio (Landau *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a agricultura familiar emerge como uma das atividades rurais mais relevantes no agronegócio brasileiro (Oliveira & Bertolini, 2022). Segundo o último censo agropecuário, realizado

em 2017, aproximadamente 86,4% dos empreendimentos rurais são classificados como agricultura familiar (IBGE, 2017). Com a família desempenhando papéis centrais na gestão e no trabalho, a agricultura familiar é uma categoria heterogênea, variando em termos de renda, tamanho da propriedade, condições de acesso à terra, e grau de especialização ou diversificação da produção (Troian *et al.*, 2020). No entanto, apesar de sua significativa participação na produção nacional, os agricultores familiares ainda enfrentam desafios relacionados à adequação dos sistemas de produção à capacidade de investimento, ao tamanho das propriedades e ao tipo de mão-de-obra empregada, resultando em inconsistências financeiras (Deus *et al.*, 2021; Bressan, Reghim e Stiegelmeier, 2019). Portanto, é essencial buscar o uso eficiente das áreas disponíveis e da mão de obra familiar (Gasparin *et al.*, 2023).

Recomenda-se a utilização de modelos baseados em programação linear para resolver problemas relacionados à produção agrícola (Arenales *et al.*, 2015). Esses modelos fornecem soluções mais eficientes, maximizando lucros e minimizando custos (Bressan, Reghim e Stiegelmeier, 2019; Donato *et al.*, 2021).

No contexto da aplicação da programação linear para otimizar a produção agrícola, este trabalho visa apresentar um estudo de otimização econômica de uma produção agropecuária familiar. Utilizando a programação linear, busca-se maximizar o lucro e minimizar os custos da produção. Assim, por meio da elaboração de um modelo matemático, pretende-se mostrar diferentes cenários possíveis que favoreçam a renda do produtor familiar, fornecendo resultados que auxiliem na tomada de decisão para obter uma produção otimizada.

Referencial Teórico

Modelagem matemática aplicada à agropecuária

Desde meados do século XX, o desenvolvimento de modelos de otimização de sistemas de produção agropecuários tem despertado a curiosidade dos cientistas. A escolha das culturas mais adequadas, suas respectivas áreas cultivadas, o padrão tecnológico, o número e as categorias de animais, considerando recursos escassos (terra, equipamentos, mão de obra, insumos, etc.), é o problema central desses modelos, segundo Gameiro *et al.* (2010).

De acordo com Belfiore e Fávero (2013), o processo de modelagem pode ser dividido em várias etapas. A primeira é a identificação do problema, onde são definidos os objetivos a serem atingidos. Na fase de desenvolvimento, são determinadas as variáveis e as relações matemáticas. A etapa de solução envolve a aplicação de métodos matemáticos para resolver o modelo. O processo de validação assegura que as conclusões obtidas são aplicáveis ao problema real. Em seguida, ocorre a fase de implementação do modelo. Finalmente, a avaliação final consiste em verificar se os objetivos foram cumpridos.

Segundo Hillier e Lieberman (2013), os softwares de modelagem facilitam a formulação eficiente de modelos matemáticos de grande escala, utilizando bancos de dados para formular restrições de forma automatizada. Além disso, esses programas agilizam tarefas de gerenciamento, como a conversão de dados em parâmetros e a análise das soluções geradas pelos modelos.

No trabalho de Bressan, Reghim e Stiegelmeier (2019), as autoras empregaram a Programação Linear para a formulação matemática de problemas de produção agrícola. Os estudos de caso apresentados envolvem a maximização dos lucros de uma produção agrícola e de uma propriedade de reflorestamento, buscando a eficácia no planejamento da rotação de culturas em uma propriedade rural.

Metodologia

Unidade de produção agropecuária (UPA)

A pesquisa foi realizada no período de maio a junho de 2024, em uma propriedade rural de pequeno porte, onde se realizou a coleta de dados. A UPA (Unidade de Produção Agropecuária) estudada está localizada no município de Alagoa Nova, Paraíba, Brasil, situada pelas coordenadas geográficas 7°03’25,5” latitude S, 35°48’51,4” longitude W e altitude média de 530 m (Figura 1). A mesma foi selecionada, por atender às principais especificações de uma pequena propriedade agro familiar.

Figura 1 – Localização da UPA de Alagoa Nova – Paraíba



Fonte: Google Maps (2024).

A Unidade de Produção Agropecuária (UPA) escolhida possui uma área total de 12 hectares, dos quais 6 hectares são atualmente utilizados para a produção agrícola, cultivando milho, BRS Capiaçu, feijão-caupi e batata-doce. A propriedade conta ainda com 1 hectare destinado à produção de proteína animal (bovinocultura de corte), 0,5 hectare para moradia e 2,5 hectares reservados para preservação ambiental. A área irrigada para o cultivo de BRS Capiaçu é de 0,5 hectare, com uma produção média de 60 toneladas por hectare. O milho é cultivado em uma área de 3 hectares, sendo destinado tanto para venda em espigas quanto para silagem, com uma produção de 30.000 espigas e 350 sacas de 30 kg de silagem por hectare. O feijão e a batata-doce, são cultivados em áreas de 1,5 hectare e 1 hectare, respectivamente, com uma produção de 1.200 kg/hectare de feijão e 14.000 kg/hectare de batata-doce. Para a atividade pecuária, utiliza-se 1 hectare, onde são criadas aproximadamente 10 cabeças de bovino de corte da raça Nelore. Inicialmente, foram realizadas visitas à propriedade em estudo e entrevistas com o proprietário para obter uma interpretação detalhada da Unidade de Produção Agropecuária (UPA) e caracterizar os elementos relevantes para a obtenção dos resultados. Além disso, foram feitas pesquisas bibliográficas para complementar as informações sobre dados técnicos da produção agropecuária.

Após a coleta de dados, procedeu-se com a análise das informações e o desenvolvimento de um modelo matemático destinado a otimizar o resultado econômico da UPA, integrando lavoura e pecuária. Para a modelagem, foram analisados os principais coeficientes financeiros relacionados à produção de proteína animal (bovino de corte) e vegetal (BRS Capiaçu, feijão-caupi, batata-doce e milho), além dos principais

coeficientes zootécnicos, como a produção e ingestão de volumoso e grãos, e a distribuição da mão de obra. Também foram considerados os condicionantes técnicos, econômicos e financeiros. A técnica utilizada para modelar o problema foi a Programação Linear, inserida na área do conhecimento denominada Pesquisa Operacional.

O modelo de otimização foi desenvolvido para maximizar o resultado econômico da produção agropecuária da UPA em estudo. A partir dos dados obtidos, foi desenvolvido um modelo de otimização agropecuária, para o qual foi necessário realizar a identificação das variáveis e, posteriormente, formular a função objetivo e as restrições. As variáveis do modelo elaborado abordam a produção agropecuária, a alimentação da bovinocultura de corte, a oferta de fósforo pela bovinocultura e a necessidade desse nutriente na produção agrícola, a superfície de área útil e a mão-de-obra. A função objetivo no modelo inclui os custos com a produção agrícola, com o fornecimento de fósforo, com a produção de bovinos de corte e com a mão-de-obra, além das entradas econômicas com a venda dos produtos agrícolas e dos bovinos de corte.

O modelo é baseado em um conjunto de restrições relacionadas à atividade pecuária e à atividade agrícola, a fim de maximizar o resultado econômico anual e buscou a otimização desta pesquisa foi processado utilizando o software LINGO. Os resultados do modelo demonstram um melhor desempenho dos principais fatores que influenciam a produtividade agropecuária na UPA em questão. Através da otimização desses fatores, o modelo identifica o cenário que gera o melhor resultado econômico para a unidade. Os resultados foram avaliados e ajustados para garantir a consistência com a proposta original, relacionando a realidade constatada na unidade de produção com o modelo matemático, validando os dados coletados a partir do sistema atual investigado. O objetivo dessa verificação foi proporcionar um nível de confiança aceitável nos resultados obtidos. Para validar o modelo, foram fixadas algumas restrições que relacionam as variáveis dependentes e independentes, demonstrando a situação atual do sistema de produção modelado. Foram fixados 10 bovinos de corte por lote (GADO1 = 10; GADO2 = 10; GADO3 = 10), 0,5 hectare para a área destinada à produção de capiaçu (PASTO = 0,5) e 6,0 hectares para a área total utilizada pelo proprietário (SAU = 6 ha).

Resultados e discussões

O modelo de otimização, elaborado conforme o procedimento descrito acima, foi utilizado para analisar as possibilidades de melhoria da renda do produtor, a fim de auxiliá-lo em como investir melhor seu capital econômico. Assim, este tópico apresenta os principais resultados e discussões relativos às soluções propostas pelo modelo para o sistema de produção animal e vegetal. A partir dos dados financeiros fornecidos pelo agricultor, foi calculado o rendimento líquido da situação atual da propriedade, resultando em um valor anual de aproximadamente R$ 172.230,00. Com o modelo desenvolvido e as restrições impostas para validação, foi obtido um resultado econômico anual de aproximadamente R$ 204.210,00. Comparando os dois valores, verifica-se uma diferença de 15,6%. Dessa forma, o modelo pode ser considerado representativo, pois apresenta uma diferença menor que 20%, conforme o valor encontrado por Sandmann e Barros (2010). Pode-se observar no resultado econômico anual, obtido pela função objetivo (MAX= REA), foi de R$ 872.395,20. Esse resultado foi alcançado mediante a soma dos rendimentos de cada mês, resultantes dos cálculos econômicos envolvendo as entradas e saídas financeiras. Esse valor difere da realidade econômica da propriedade, visto que o modelo busca a melhor distribuição das condições de contorno que envolvem a produção agropecuária, ou seja, a otimização no uso da superfície de área útil e o aumento no rebanho bovino.

Nesse contexto, o modelo indica que a UPA tem a capacidade de produzir silagem de milho para suprir a necessidade de ingestão de volumoso de um rebanho anual de 393 bovinos de corte, dividido em três lotes iguais de 131 bovinos, considerando um período de engorda de 120 dias. Isso representa um valor 13 vezes maior do que o sistema produtivo atual da propriedade (10 bovinos). Para isso, o modelo propõe o uso de 11,97 hectares para o plantio de milho duas vezes ao ano e de 12,00 hectares para outras duas vezes ao ano, considerando o ciclo vegetativo de 90 dias para essa cultura, o que representa 100% da superfície de área útil (SAU). Duas vezes ao ano, o modelo sugere o plantio de feijão em 0,03 hectares, complementando os plantios de milho que não utilizariam 100% da SAU. O plantio de milho proporciona ao agricultor a venda de espigas de milho e a venda ou consumo de silagem.

Dessa forma, o modelo sugere o consumo de toda a silagem produzida em três ciclos para suprir a necessidade de volumoso do rebanho bovino e a venda de toda a silagem no quarto ciclo, promovendo uma entrada de R$ 60.000,00. A venda das espigas de milho ocorre duas vezes ao ano, gerando uma entrada anual de R$ 360.000,00. Segundo Pereira *et al.* (2007), a silagem de milho (Zea mays L.) é o principal alimento volumoso em sistemas de produção animal em confinamento. Além disso, em outros sistemas de produção, a silagem de milho pode ser utilizada durante os períodos de escassez de pastagens. Além disso, observou-se que o modelo (REA) não sugeriu o plantio de batata-doce e do capim (BRS Capiaçu) na área disponível. Isso pode ser entendido, pois o modelo busca encontrar o melhor resultado econômico, o que foi obtido com o aumento do rebanho bovino e a produção de milho e feijão. Dessa forma, a silagem de milho é suficiente para suprir a quantidade de volumoso necessária na alimentação dos bovinos de corte, e o retorno financeiro obtido por esse cenário seria o mais favorável para o produtor. Entendeu-se que o aumento do rebanho bovino e o plantio de milho em toda a área disponível foram as soluções indicadas pelo modelo para maximizar a renda anual da UPA. Para isso, seria necessário contratar aproximadamente 3.136 horas de mão de obra por ano, totalizando um custo com mão de obra de R$ 19.505,92. Somando com a mão-de-obra familiar (8 horas por dia), a necessidade anual seria de 5.632 horas de trabalho para atender à demanda da produção agropecuária proposta para a propriedade em estudo. Na bovinocultura de corte, há uma geração diária significativa de rejeitos. Com base nos dados fornecidos pelo proprietário, os bovinos são comprados com peso médio de 350 kg e vendidos com peso médio de 500 kg.

Durante o período de engorda de 120 dias (4 meses) indicado, a produção de rejeito bovino seria de 2.400 kg por boi, sendo que cada quilo de rejeito contém 0,004 kg de fósforo (Cassol *et al.*, 2001). Dessa forma, seriam acumulados cerca de 9,6 kg de fósforo por bovino de corte confinado, que seriam destinados à produção agrícola da propriedade. Diante da quantidade de bovinos proposta pelo modelo (393 bovinos), a quantidade anual total de fósforo fornecido pelo rejeito bovino seria de aproximadamente 3.772,8 kg. Logo, seria necessário comprar 3.902,1 kg desse nutriente para suprir a necessidade de fósforo na produção agrícola proposta. Por isso, seriam gastos R$ 83.116,25 com a compra de adubo químico.

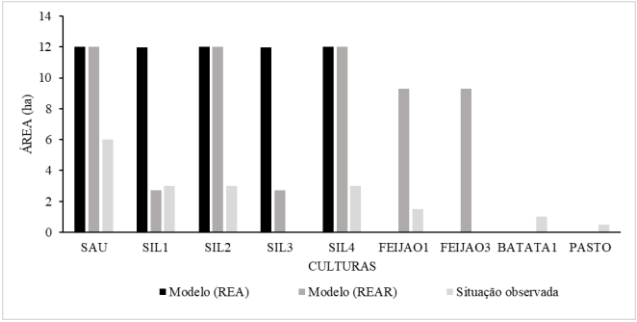
Entende-se que o principal benefício da aplicação de resíduos na produção agrícola é o suprimento de nutrientes essenciais para as culturas, sobretudo os macronutrientes. Nesse contexto, a utilização de esterco é uma alternativa amplamente adotada para o suprimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em áreas de agricultura familiar na região semiárida e agreste do Nordeste brasileiro (Assis Carneiro & Vieira, 2020). Em busca de aproximar a realidade da região e do produtor ao resultado da otimização econômica do modelo proposto, foi estabelecida a quantidade de 30 bovinos de corte por lote, totalizando 90 bovinos por ano, conforme orientação do produtor quanto à quantidade possível de compra de bovinos e ao fornecimento de bovinos nas proximidades da área de produção. As simulações para essas restrições.

Nesse contexto, obteve-se o resultado econômico anual otimizado de R$ 463.826,70. Com essa restrição, o modelo propõe a produção de silagem de milho para suprir a necessidade do rebanho bovino de 90 bovinos de corte, considerando um período de engorda de 120 dias. Assim, é indicado o uso de 2,7 hectares para dois plantios de milho ao longo do ano, além de 9,3 hectares destinados ao plantio de feijão, para complementar o uso de 100% da SAU. Em outros dois plantios de milho no ano, seria utilizada toda a área (12 hectares). Além da silagem para consumo animal, haveria a venda de silagem de milho, espigas de milho e feijão. Observa-se também que o modelo (REAR) não indica o plantio de batata-doce e do capim (BRS Capiaçu) na área disponível. Logo, diante da quantidade de bovinos imposta, o plantio de milho e de feijão foi a solução sugerida pelo modelo a fim de maximizar o resultado econômico anual da propriedade.

Nesse cenário, é observado que apenas a mão-de-obra familiar seria suficiente para suprir a necessidade de horas de trabalho na produção agropecuária. Além disso, a quantidade anual de fósforo fornecida pelo rejeito bovino seria de aproximadamente 864 kg, sendo necessário comprar 4.779,4 kg desse nutriente para suprir a demanda de fósforo na produção agrícola. Dessa forma, seriam gastos R$ 101.801,80 com a compra de adubo químico. Na Figura 2, observa-se os resultados das simulações em relação à quantidade de terra (ha) destinada às principais culturas produzidas na UPA em estudo, comparando os modelos apresentados acima: o modelo de maximização do resultado econômico (REA), o modelo de maximização do resultado econômico com restri-

ção na quantidade de bovinos de corte (REAR) e a situação atual da propriedade.

Figura 2 – Distribuição da SAU nas simulações apresentadas em cada modelo



Fonte: Autores (2024)

Legenda: SAU – Superfície de Área Útil; SIL1 – primeiro plantio de milho; SIL2 – segundo plantio de milho; SIL3 – terceiro plantio de milho; SIL4 – quarto plantio de milho; FEIJAO1 – primeiro plantio de feijão; FEIJAO3 – terceiro plantio de feijão; BATATA1 – plantio de batata-doce; PASTO – plantio de capim (BRS Capiaçu); Modelo (REA) – modelo de resultado econômico anual; Modelo (REAR) – modelo de resultado econômico anual com restrição de bovino de corte.

Observa-se ainda na Figura 3 que o modelo REA apresenta a melhor conjuntura possível para a SAU da propriedade, visando o melhor resultado econômico anual. Contudo, diante da dificuldade de aquisição de bovinos de corte em quantidades maiores que 30 bovinos por lote, o modelo REAR representa o melhor resultado econômico para as restrições impostas, investindo não apenas na produção de milho e silagem, mas também na produção de feijão. Em ambas as situações, é observada uma melhor distribuição da SAU e, consequentemente, um resultado econômico mais favorável em comparação com a situação atual da UPA. Isso ocorre porque o proprietário ainda não utiliza toda a área disponível, empregando apenas 50% da SAU (6 ha), o que justifica também o baixo resultado econômico anual em relação aos modelos apresentados.

Conclusão

Diante dos resultados fornecidos pelo modelo matemático para a otimização econômica de uma unidade agropecuária no oeste paraibano, conclui-se que o modelo propõe uma maximização dos resultados econômicos e uma adequada destinação da Superfície de Área Útil (SAU) para atender às necessidades específicas da UPA. Além disso, o

modelo promove a sustentabilidade ambiental ao utilizar rejeito bovino para fornecer fósforo na produção agrícola. Para alcançar a maximização da renda anual do proprietário, o modelo indica a necessidade de aumentar o rebanho bovino para 131 bovinos de corte por lote e destinar 100% da SAU ao plantio de milho. Com isso, o modelo sugere o aproveitamento total do rejeito bovino para suprir parte da demanda de fósforo das culturas. Observa-se que a mão-de-obra, a superfície de área útil e o balanço de fósforo foram os fatores que mais impactaram os resultados na simulação. o modelo com restrição de bovinos de corte, que visa aproximar a realidade do produtor, foi observado uma nova distribuição da SAU. O plantio de feijão duas vezes ao ano foi recomendado para otimizar o uso da área disponível e maximizar o resultado econômico anual. Para trabalhos futuros, sugere-se monitorar esta UPA ou investigar propriedades similares para a implementação do modelo e a inclusão de custos e variáveis adicionais que não foram abordados nesta análise.

Referências

ABIEC., 2019. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Perfil da pecuária no Brasil.Disponívelem:https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef- Report2022_atualizado_jun2022.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.

AMARO, G. B., TALAMINI, V., FERNANDES, F. R., DA SILVA, G. O., & MADEIRA, N. R., 2019. Desempenho de cultivares de batata-doce para rendimento e qualidade de raízes em Sergipe. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.14, n.1, 2019.

ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R., & YANASSE, H., 2015. Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

ASSIS CARNEIRO, R. S., & VIEIRA, C. R., 2020. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, 24(4), 386-395.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – referências – elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação – citações em documentos – apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023.

ATHAYDE SOBRINHO, C., 2016. Principais doenças do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E. A. (Ed.). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (p. 44-66).

BELFIORE, P.; FÁVERO, L.. 2013. Pesquisa operacional para cursos de engenharia (Vol. 1). Elsevier Brasil.

BRASIL. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito EstuFa no Brasil – 6ª Edição. 2022. Disponívelem:https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRESSAN, G. M., REGHIM, D. C. L., & STIEGELMEIER, E. W., 2019. Modelagem matemática de problemas agrícolas utilizando programação linear. CQD-Revista Eletrônica Paulista de Matemática. (p. 12−23). Edição Iniciação Científica.

BRONDANI, I., RESTLE, J., & PASCOAL, L, 1995. Alimentos volumosos. restle, j., brondani, il, pascoal, ll, *et al.* Curso sobre confinamento de bovinos de corte. Santa Maria: UFSM, 1-14

CORBETT, E.S., LYNCH, J.A . Management of streamside zones on municipal watersheds. In: **Riparian ecosystems and their management** . USDA Forest Service general Technical Report RM-120, p.187-190, 1985.

DONATO *et al.* Tell me more and make me feel proud: the role of eco-labels and informational cues on consumers' food perceptions. Br. Food J., 2021.

DEUS, C. D., CARVALHO, M. L. D. S., NARCISO, V., SHIKIDA, P. F. A., LUCAS, M. R., &

HENRIQUES, P. D, 2021. O bem-estar dos agregados familiares rurais em Timor-Leste: uma abordagem baseada na programação linear etnográfica. Revista de Economia e Sociologia Rural, 59(1), e238878.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2019. Milho – Caracterização e Desafios Tecnológicos, Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2).

HILLIER, F. S., & LIEBERMAN, G. J., 2013. Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill Brasil. 9 ed. Porto Alegre.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Área destinada à colheita, quantidade produzida e valor da produção da lavoura permanente. https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613.

LANDAU, E. C. *et al.* Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF. Embrapa, 2020.

LINGO 21 – Software de modelagem de otimização para programação linear, não linear e inteira. Disponível: https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling. Acesso: 17/06/2024.

MACHADO, R. E. Simulação de Escoamento e Produção de Sedimentos em Uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento, Tese de Doutorado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002, 126p.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. **Geoprocessamento em recursos hídricos:** princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 533 p.

MELO, M. C. D. S. R., 2024. Diferentes modelos de produção em bovinocultura de corte, com ênfase em confinamento e semiconfinamento: revisão bibliográfica. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia.

MOSCHINI, L. E. Diagnóstico e riscos ambientais relacionados à fragmentação de áreas naturais e semi-naturais da paisagem. Estudo de caso: município de Araraquara – SP. 2005. 74

OLIVEIRA, A. R. D., 2017. Dietas para bovinos com diferentes fontes de nitrogênio e carboidratos. Brazilian Journal of Development, 25-55.

OLIVEIRA, J. F. A., JAKELAITIS, A., CABRAL FILHO, S. L. S., SILVA, C. J. D., GUIMARÃES, K. C., PEREIRA, L. S., ... & OLIVEIRA, G. S. D, 2021. Silage quality from intercropping corn and soybean managed with inoculant Azospirillum brasilense and nitrogen fertilization. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 22, e2122092021.

OLIVEIRA, P.A.V.; *et al.* Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos: **Documento 27**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993.

OLIVEIRA, W. C., & BERTOLINI, G. R. F, 2022. Uma revisão sistemática sobre a contribuição das cooperativas para a sustentabilidade da agricultura familiar. Research, Society and Development, 11(2), e43411226098-e43411226098.

ONU – Organização das Nações Unidas. População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022. 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022. Acesso em: 12 de jun, 2024.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. A de; NONES, K. Produção de Suínos e Meio Ambiente. **In**: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9, 2001, Gramado, Anais ... RS: 2001, p. 8-24.

PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; NEWTON, M. *et al. "Water Resources: Agricultural and Environmental Issues".* **Bioscience**, v. 54, n. 10, Outubro de 2004, pg. 909-918.

ROCHA, M. D. M., & de MENEZES JUNIOR, J. A., 2016. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. p. 6-12. (Ed.). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte.

SANDMANN, A., & Barros, M. (2010). Modelagem matemática dos condicionantes técnicos, econômicos e financeiros de uma unidade de produção agropecuária com bovinocultura de leite. Medianeira: Edição do autor.

SANDMANN, A.., *et al.*, 2013. Maximização econômica em unidade produtiva agropecuária com reutilização dos efluentes gerados. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande

SCHELER, E. D.; CAVICHIOLI, F.A, 2021 Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 1, p. 265–275.

SECCHI, A. R.. Otimização de Processo. Porto Alegre: Cpgeq, 2001. 165 p.

TROIAN, A., TROIAN, A., OLIVEIRA, S. V. D., & PEREIRA, J. C, 2020. Desempenho dos municípios do Rio Grande do Sul na execução dos recursos do

PNAE com a agricultura familiar. Revista de Economia e Sociologia Rural, 58, e204558.

UCHÔA, M. R., BASTOS, R. L. G., ALBIERO, D., FERNANDES, F. R. B., CAVALCANTE, R., SILVESTRE, F. E. R., ... & DOS SANTOS, V. C., 2020. Influência da rotação de trabalho de uma trilhadora estacionária na qualidade do feijão Caupi. Brazilian Journal of Development, 6(4), 19678-19688.

XAVIER, F. A. M., MORAES, J. G. L., SILVA, M. L. S., DE MATOS NETO, R. B., DE OLIVEIRA FIRMINO, D., MARQUES, G. V., & BLEICHER, E., 2020. Comportamento de genótipos de feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp., Fabaceae) sob infestação de Empoasca sp.(Hemiptera: Cicadellidae) e Liriomyza sp.(Diptera: Agromyzidae) em Redenção, Ceará, Brasil. Paubrasilia, 3(1), 18-23. f. Dissertação Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

Potential for post-disaster soil contamination in the Sinos River Basin and implications of the climate emergency

Julia Neri Gezatt[1], Luciana Rigon Carneiro Duarte[1], Kerolyn Correa Cabral1, Marcelo Oliveira Caetano[2], Karlos Guilherme Diemer Kochhann[1]
[1]Instituto Tecnológico de Paleoceanografia e Mudanças Climáticas/Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (gezattjn@gmail.com)
[2]Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (mocaetano@unisinos.br)

Abstract: The climate emergency intensifies and increases frequency of extreme weather events, such as the unprecedented May-2024 floods in Rio Grande do Sul, Brazil, caused by heavy raining. In the Sinos River Basin, in the eastern region of the state, many cities were heavily impacted by the event, with some urban areas remaining underwater for weeks. To assess the consequences of the disaster for potential soil contamination, 13 locations were sampled following the Sinos River between the cities of Taquara and Canoas in July and October, 2024. Analyses were conducted to verify the presence and content of mercury, arsenic, chromium, cadmium, copper, nickel, lead, and microbiological parameters in flood muds (first sampling) and soils (second sampling). Mercury was detected in both field campaigns, although in relatively lower levels in October and below Brazilian national legislation prevention values. Heavy metal contents obtained in October show a decrease in chromium, nickel, and cadmium relative to those observed in July, with some locations presenting levels above Brazilian national prevention values. Microbiological parameters decreased to negligible levels between both campaigns. Highest contents of the analyzed metals are, notably, found near or within densely populated areas, which highlights the need for long-term soil quality monitoring.

Key words: Sinos River Basin. São Leopoldo. May-24 floods. Soil contamination.

Potencial de contaminação do solo pós-desastre na Bacia do Rio dos Sinos e implicações da emergência climática

Resumo: A emergência climática aumenta e intensifica a ocorrências de eventos climáticos extremos, como os alagamentos sem precedentes em maio de 2024 no Rio Grande do Sul, devido ao excesso de chuvas. Na Bacia do Rio dos Sinos, região leste do Estado, várias cidades foram gravemente afetadas pelo evento, com algumas áreas urbanas permanecendo debaixo d'água por semanas. Objetivando determinar as consequências desse desastre em termos de

potencial contaminação dos solos, amostras foram coletadas de 13 localidades seguindo as margens do Rio dos Sinos, entre as cidades de Taquara e Canoas, em julho e outubro de 2024. Verificou-se o teor de mercúrio, arsênio, cromo, cádmio, cobre, níquel, chumbo, e parâmetros microbiológicos nas lamas de inundação (primeira coleta) e solos (segunda coleta). Mercúrio foi detectado em ambas as campanhas, com níveis relativos menores em outubro, e abaixo dos valores de prevenção determinados pela legislação nacional. Os teores de metais pesados nas amostras de outubro indicam diminuição de cromo, níquel e cádmio em relação a julho, com alguns locais mostrando valores acima dos valores preventivos nacionais. Parâmetros biológicos atingiram níveis negligenciáveis entre as duas campanhas. As maiores concentrações dentre os metais analisados encontraram-se, notavelmente, próximas ou dentro de áreas densamente povoadas, o que evidencia a necessidade de monitoramento de qualidade do solo de longo termo

Palavras-chave: Bacia do Rio dos Sinos. São Leopoldo. Enchentes de maio de 2024. Contaminação do solo.

Introduction

The global emergency caused by climate change becomes a greater threat every year, given the observed phenomena, the predictions of global temperature rise, and the consequent intensification of extreme events that represent risk to the population (IPCC, 2023; Petry *et al.*, 2025). Climate episodes such as atypically-high rainfall, associated with strong winds, have become more severe and common, and could, thus, contribute to an increased frequency in floods and mass movements, among other risks.

One impactful example is the unprecedented disaster that occurred in May 2024 in the state of Rio Grande do Sul (RS), in the southernmost part of Brazil, when record rainfall caused devastating floods which affected almost three million people in 478 of its 497 municipalities (Rio Grande do Sul, 2024). Higher frequency and intensity of such extreme climate events increase, in turn, chances of casualties, volume of losses, and the value of damages. Furthermore, great flooding events incur risk of resource contamination, specially water and soil, given the advance of flood waters over locations using or storing potentially contaminant substances.

The Sinos River Basin, located in the eastern portion of the state and part of the Guaíba Hydrographic Region, was heavily impacted by 2024 events, when many of the municipalities it includes were affected by landslides and floods (Collischonn *et al.*, 2025). Many urban areas in these cities, especially Canoas, Esteio, and São Leopoldo, in the Greater

Porto Alegre area, remained submerged for weeks. As a result, the local infrastructure (roads, bridges, commercial and residential buildings, industrial areas) suffered significant damage, as well as agricultural cultivation and storage sites, among other public and private facilities.

Aiming to evaluate potential basin soil biochemical contamination as consequence of the floods, representative samples were collected in urban and peri-urban locations in July 2024, two months after the disaster. Those same locations were resampled six months later, in October, in order to analyze the temporal evolution of the studied compounds in those locations and assess their potential accumulation and risk to the population and the environment.

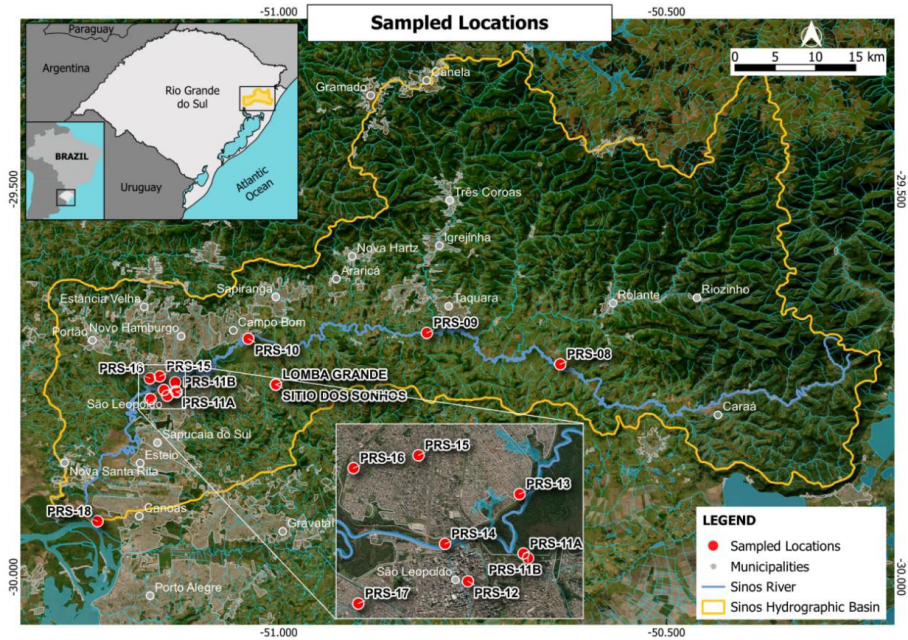
Methods

The first sampling campaign was carried in July 1st and 2nd, 2024, as part of the University of Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS – Geology undergraduate course "Field Laboratory: Hydrosphere". Sampling started upstream, near the city of Taquara, and went as far as the Paquetá Beach, downstream, in Canoas (Figure 1), for a total of 13 samples. Due to restricted access to flooded areas, which were the specific targets of the study, sampling locations were strategically selected based on optimal local accessibility, prioritizing the safest sites. The work was carried out in strict accordance with the National Guide for Sample Collection and Preservation (CETESB, 2011).

Analyses were performed for mercury, arsenic, cadmium, copper, chromium, nickel, and lead, as well as for microbiological content. The determination of mercury in sediment was performed using a direct mercury analyzer by combustion (Millestone DMA-80) following EPA method 7473 (SW-846) (U.S. EPA, 1998). Digestion of sediment samples for metal analysis was carried out in a microwave oven with concentrated nitric acid (HNO_3), following EPA method 3051 (SW-846) (U.S. EPA, 2007). Determination of metal concentrations was performed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP OES Thermo Fisher ICAP 7200) following method SMWW 3120B (APHA, 2023). These procedures were conducted at the Technological Institute of Paleoceanography and Climate Change (itt OCEANEON). Microbiological analysis included the determination of *Escherichia coli* (*E. coli*) using the AOAC Intl. – OMA protocol, method 991.14 (Andrews; Hammack, 2023), mesophilic aerobic bacteria according to

ABNT NBR ISO 4833-2:2015, and total coliform count (TCC) by the SMEWW, 23rd edition, method 9223 B (APHA, 2023), conducted at the Technological Institute Nutrifor (itt Nutrifor). Both institutes are part of UNISINOS, in São Leopoldo, RS.

Figure 1 – Locations sampled for the study.



Results

Mercury was found in all analyzed soil samples from the first campaign, varying between 0.0015 and 0.0533 ppm (average of 0.0243 +/- 0.0160 ppm), with highest values corresponding to samples collected in densely populated areas affected by the floods in the municipality of São Leopoldo (sample points PRS-15 and PRS-17). In the same sampling campaign, the levels of heavy metals were found to be significant for cadmium, chromium, copper, and nickel, with the latter being the most prevalent, detected at six of the 13 sampled points. For microbiological parameters, 100% of soil samples bore *E. coli* (concentration between 10^1 e 10^3 UFC/g), mesophilic bacteria (10^5 to 10^7 UFC/g), and TCC (10^2 e 10^5 UFC/g) (see supplementary material and published database in Caetano et al, 2024).

Results for the second sampling season revealed, again, ubiquitous presence of mercury, although varying between 0.0030 and 0.0560

ppm (average of 0.0228 +/- 0.0180). Mercury levels were higher in 45% of the sampled locations when compared to the results obtained in July (Table 1; Figure 2). Trace element results for the second sampling season, in turn, showed a relative decrease compared to those obtained in July, specially for chromium, nickel, and cadmium (Table 2). Microbiological parameters from the second campaign showed no presence of *E. coli* in soil samples. This supports the hypothesis that the microbiological content found in July was linked to sewage contamination carried by floodwater during the disaster, which naturally decreased over time.

Table 1 – Results for the two sampling seasons and comparison between obtained contents of mercury in ppm. PV – Prevention Value from national legislation; RV – reference value for naturally-occurring mercury from state legislation.

Sample Numbers/	**Mercury (pp**	**m)**
Season	**Jul-24**	**Out-24**
PRS-08	0.0248	0.021
PRS – 09	0.0259	0.003
PRS – 10	0.0325	0.041
PRS – 11A	0.0170	-
PRS – 11B	0.0034	0.043
PRS – 12	0.0015	0.020
PRS – 13	0.0236	0.049
PRS – 14	0.0196	0.056
PRS – 15	0.0470	0.036
PRS – 16	0.0243	0.024
PRS – 17A	0.0533	0.010
PRS – 17B	0.0059	-
PRS – 18	0.0116	0.023
CONAMA PV	0.5	
FEPAM RV	0.015	

Figure 2 – Comparison between mercury contents obtained for both sampling seasons.

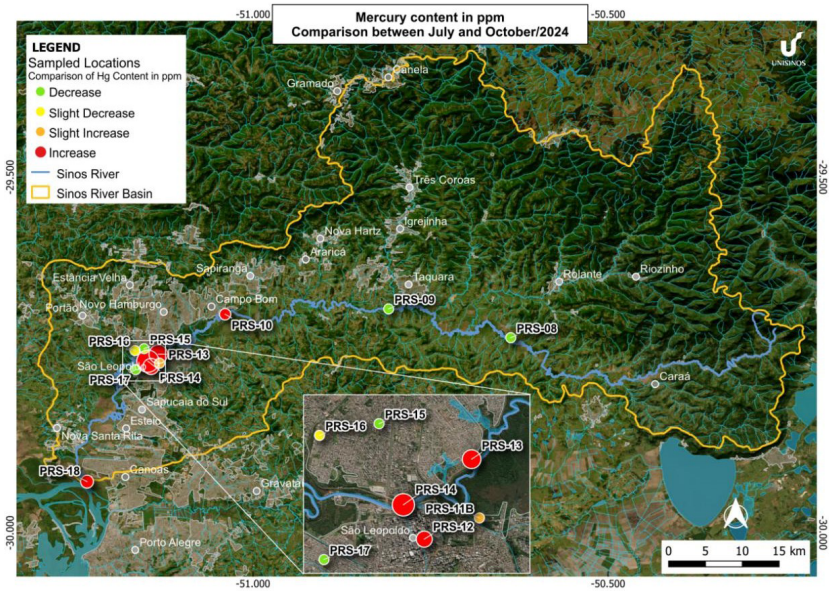


Table 2 – Results for the two sampling seasons and comparison between obtained contents of trace elements. PV – Prevention Value from legislation; LQ – Content below Limit of Quantification.

Sample Numbers	Seasons	Arsenic	Cadmium	Chromium	Copper	Nickel	Lead
PRS-8	Jul-24	5.591	<L.Q	70.367	38.12	37.75	36.722
	Oct-24	2.3712	0.7406	26.408	12.9233	11.3707	10.8281
PRS-9	Jul-24	2.942	<L.Q	80.922	50.133	43.232	23.787
	Oct-24	0.35	0.2613	17.7906	6.9317	6.0759	2.999
PRS-10	Jul-24	4.192	<L.Q	88.568	55.231	45.373	31.154
	Oct-24	5.2659	1.1711	63.1463	56.5295	30.7357	25.3453
PRS-11	Jul-24	1.210	<L.Q	5.630	2.422	2.256	4.014
	Oct-24	4.3027	0.6849	26.2432	22.6848	12.1383	16.0817
PRS-12	Jul-24	<L.Q	<L.Q	2.4	2.015	0.935	3.060
	Oct-24	3.8901	0.311	11.1866	8.3327	3.5718	13.3348
PRS-13	Jul-24	5.963	11.716	45.930	112.028	23.156	41.907
	Oct-24	5.6323	1.0746	100.5287	53.3448	22.728	28.4124
PRS-14	Jul-24	1.708	<L.Q	23.470	23.532	9.820	14.778
	Oct-24	5.6323	1.0746	51.6085	53.3448	22.728	28.4124
PRS-15	Jul-24	8.679	<L.Q	107,560	79.195	48.497	50.491
	Oct-24	4.1124	0,8234	51,6085	41.7059	20.2802	21.821
PRS-16	Jul-24	8.587	<L.Q	57.020	61.170	64.833	47.026
	Oct-24	8.8703	0.9277	73.9406	30.7414	23.5661	27.2608
PRS-17	Jul-24	6.681	<L.Q	64.680	52.693	25.680	38.793
	Oct-24	5.509	0.5846	22.2119	27.6998	14.0832	24.4346
PRS-18	Jul-24	3.770	<L.Q	37.330	68.710	44.230	22.500
	Oct-24	13.7881	0.741	21.8314	8.8615	5.4705	32.7288
FEPAM RV		-	0.420	21.000	11.000	7.000	16.000
CONAMA PV		15.000	1.300	75.000	60.000	30.000	72.000

Discussion

Legal reference content for mercury in soil is defined in the National Environmental Council (Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA) Resolution n. 420/2009 as 0.5 ppm, Prevention Value – PV. The regulation also determines Prevention Values for the analyzed heavy metals, which serve as limit values for substances in soil, ensuring that it can maintain its essential functions. Prevention Values for arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, and lead are 15,000, 1,300, 75,000, 60,000, 30,000, and 72,000, respectively (Table 2). Although the observed mercury levels are below those listed in CONAMA Resolution n. 420/2009, a state ordinance determines reference values for naturally-occurring elements in soil, according to Rio Grande do Sul's geodiversity. Henrique Luiz Roessler State Foundation for Environmental Protection (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM) Ordinance n. 85/2014 determines naturally-occurring mercury reference values of 0.015 ppm for arenitic sedimentary rocks of the region, the dominant type of rock in the basin area. As such, obtained mercury values are below the national legal concern limit, but are well above state-determined naturally-occurring values for all samples collected in both seasons (Table 1). Trace element contents, however, can be seen above PVs from CONAMA Resolution n. 420/2009 in numerous sampling locations in both sampling seasons, mostly in densely populated areas such as the city centers of São Leopoldo and Novo Hamburgo. Values for arsenic, copper, and lead obtained in October, on the other hand, are below CONAMA Prevention Values in all locations. A relative content decrease can also be observed for chromium, nickel, and cadmium (Table 2).

Conclusions and Final Remarks

Given the significance of the results obtained and the evidence of post-disaster potential for soil contamination, this study highlights formerly unidentified consequences of the 2024 floods in Rio Grande do Sul. Mercury contents, although not on or above Prevention Values set by national legislation (CONAMA Resolution n. 420/2009), they remain above state-determined reference values for naturally-occurring metals in the dominant rocks of the basin region, indicating the need for ongoing soil quality monitoring. While heavy metal levels

have significantly decreased, some points still exceed the CONAMA Prevention Values six months after the disaster, which raises concerns and underscores the need for a monitoring network. It is crucial to note that sampling sites with highest mercury and heavy metal concentrations are located near or within densely populated areas, emphasizing the importance of such monitoring, in order to track potential long-term accumulation which could pose serious risk to both the population and environment in the basin region.

References

ABNT. 2015. NBR ISO 4833-2:2015. Microbiologia da cadeia produtiva de alimentos – Método horizontal para a enumeração de microrganismos Parte 2: Contagem de colônias a 30 °C pela técnica de plaqueamento em superfície. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 19p

APHA. 2023. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th ed. American Public Health Association. APHA Press. Washington DC.

ANDREWS, W. H.; HAMMACK, T.S. 2023. Ch 17 Microbiological Methods. In: Latimer, Jr., G. W. (Ed.), Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 22nd Edition. Online edition. AOAC Publications. New York. https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001

CAETANO, M. O.; GEZATT, J. N.; BOM, M. H. H.; CABRAL, K. C.; RODRIGUES, L. F.; DUARTE, L. R. C.; XAVIER, J. S.; ABIDO, C. S.; ROSA,A. A. P.; SPALDING, J. M.; ZIEGLER, V.; KOCHHANN, C. G. D.; FAUTH, G. 2024. Resultados preliminares das análises físico-químicas e biológicas de sedimentos (lodo) da enchente de abril-maio de 2024 na Bacia do Rio dos Sinos. Database. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 4 p. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/YJDVT

CETESB. 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Brandão, C. J... [*et al.*]. (Org.). São Paulo. 327 p.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; MICHAEL,G. P.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; MORAES, S. R.; MARCUZZO, F. F. N.; *et al.* 2025. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. Brazilian Journal of Water Resources. Case Studies. v. 30, e1. https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119

IPCC, 2023. Summary for policymakers. Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). Switzerland. 36 p.

PETRY, I., MIRANDA, P. T., PAIVA, R. C. D., COLLISCHONN, W., FAN, F. M., FAGUNDES, H. O., *et al.* 2025. Changes in flood magnitude and frequency projected for vulnerable regions and major wetlands of south America. Geophysical Research Letters, 52, e2024GL112436. https://doi.org/10.1029/2024GL112436

RIO GRANDE DO SUL. 2024. Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS – 20/08. Relatório das ações de resgate nas localidades atingidas. Defesa Civil do

Estado do Rio Grande do Sul. Casa Militar. Available in: https://www.estado.rs.gov.br/defesa-civilatualiza-balanco- das-enchentes-no-rs-20-8. Access in 23/09/2024.

U.S. EPA. 1998. Method 7473 (SW-846): Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. Revision 0. Washington, DC.

U.S. EPA. 2007. Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils. Revision 1. Washington, DC.

Análise comparativa entre os sistemas de gestão de Resíduos da Construção Civil de dois municípios do RS

Caroline Viganó Rech[1], Bianca Breda[2], Denise Peresin[3], Tiago Panizzon[4], Juliano Rodrigues Gimenez[5]
[1, 2, 3, 4] *Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (cvrech@ucs.br, bbreda@ucs.br, dperesin@ucs.br, tpanizzo@ucs.br, jrgimene@ucs.br)*

Resumo: A construção civil é um importante setor econômico brasileiro. No entanto, é um dos principais geradores de resíduos, muitas vezes não administrados de maneira adequada pelos geradores e pelos municípios. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo analisar os Planos Municipais de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) dos municípios de Farroupilha e Taquara, no Rio Grande do Sul, com foco nos sistemas de gestão e geração de RCC em 2024. A pesquisa é de natureza qualiquantitativa e inclui análise documental, entrevistas e observação *in loco*. A geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) foi estimada em 247,93 kg/hab/ano para Farroupilha e em 196,19 kg/hab/ano para Taquara, considerando metodologias específicas. Farroupilha apresenta um número maior de dados primários, fornecidos pela Prefeitura Municipal e pela empresa de coleta e destinação, enquanto Taquara enfrenta limitações devido à ausência de dados primários, além de não possuir normativas locais. Ambos os municípios carecem de maior fiscalização e integração no gerenciamento de resíduos. Os resultados evidenciam a necessidade de melhorias em práticas de gestão e fiscalização para reduzir o impacto ambiental, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil. Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil. Destinação final.

Comparative Analysis of Construction Waste Management Systems in Two Municipalities of Rio Grande do Sul

Abstract: The construction sector is a vital component of the Brazilian economy. However, it is also one of the main sources of waste generation, frequently subject to insufficient or improper management by both waste generators and municipal authorities. In this context, the present study aimed to analyze the Municipal Construction and Demolition Waste Management Plans of the municipalities of Farroupilha and Taquara, located in the state of Rio Grande do Sul, with emphasis on their waste management systems and the estimation of construction and demolition waste generation in 2024. The research adopts a mixed-methods approach, combining document analysis, interviews, and

field observation. The estimated generation of Construction and Demolition Waste (CDW) was 247.93 kg/capita/year for Farroupilha and 196.19 kg/capita/year for Taquara, based on specific methodologies. Farroupilha stands out for having a greater volume of primary data, provided by the Municipal Government and a private waste collection and disposal company. In contrast, Taquara faces limitations due to the absence of primary data and the lack of local regulations. Both municipalities demonstrate the need for improved enforcement and greater integration in CDW management practices. The findings highlight the urgent need for advancements in regulatory frameworks and operational practices to mitigate environmental impacts, in accordance with the guidelines established by the National Solid Waste Policy.

Keywords: Construction and Demolition Waste. Municipal Construction Waste Management Plan. Final Disposal.

Introdução

A construção civil desempenha um papel relevante na economia brasileira. Conforme dados do IBGE (2022), o setor gerou, em termos nominais, um valor de R$ 439 bilhões por meio de incorporações, obras e serviços de construção. Os Resíduos da Construção Civil (RCC) resultam de atividades como construções, reformas, demolições e movimentações de solo, englobando materiais como cerâmicos, rochas, metais, tintas e madeira (BRASIL, 2002). Em 2021, os municípios brasileiros coletaram mais de 48 milhões de toneladas de RCC, com uma média de 277 kg/hab.ano (ABRELPE, 2022).

No entanto, em 2002, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução n° 307, contendo diretrizes para o gerenciamento adequado destes resíduos (CONAMA, 2002). Ainda, em 2012 o CONAMA publicou a Resolução n° 448, alterando e complementando dispositivos da Resolução nº 307, instituindo aos municípios a necessidade de elaboração de um Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) (CONAMA, 2012).

O PMGRCC é um instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil pelo município, o qual deverá estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local. A partir dele busca-se estabelecer diretrizes para uma política municipal de gestão de RCC. Para isso, são levados em consideração os aspectos legais a nível federal, estadual e municipal acerca do tema.

A **nível federal**, destaca-se a Lei Federal n° 12.305/10 (Brasil, 2010), a qual é responsável por instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos no país. Esta política pode ser considerada um marco regulatório no gerenciamento de resíduos sólidos, uma vez que estabelece "[...] diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento [... destes, bem como a ...] responsabilidade dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis" (Brasil, 2010). Além disso, determina a obrigatoriedade da elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em empresas de construção civil. A **nível estadual** tem-se a Resolução CONSEMA n° 109/05 (Rio Grande do Sul, 2005), que reafirma a responsabilidade dos municípios frente ao estabelecimento de diretrizes e embasamento técnico para promover um processo de gestão mais adequado.

Embora o tema RCC esteja legalmente embasado por normativas federais e estaduais, o grande problema enfrentado pelas administrações municipais é, na sua maioria, a ausência de normas e procedimentos para a fiscalização a **nível municipal**.

Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo realizar uma análise qualiquantitativa e comparativa dos Planos Municipais de Gestão de Resíduos da Construção Civil de dois municípios localizados no Rio Grande do Sul, ambos atualizados em 2024, visando identificar os pontos positivos e negativos dos sistemas de gestão observados e identificando as quantidades de resíduos geradas em ambos municípios.

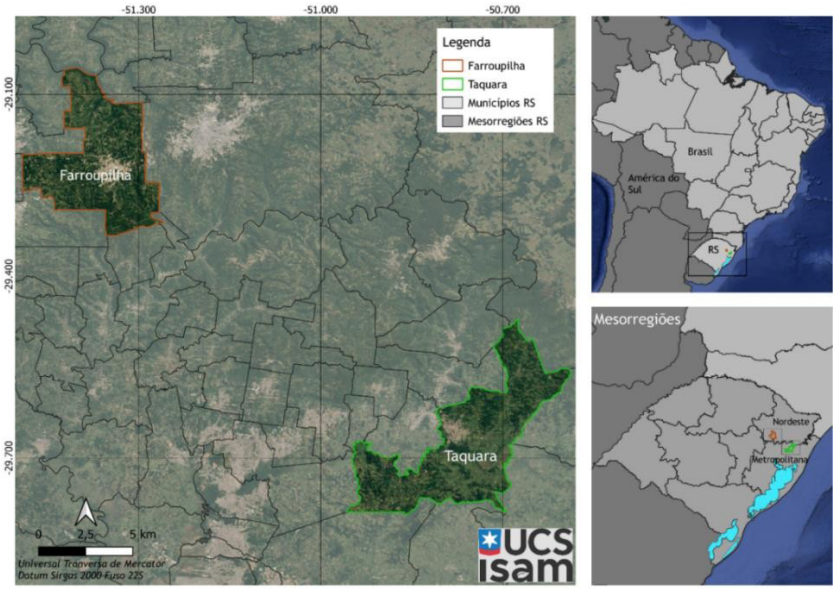
Materiais e métodos

Este estudo caracteriza-se como de natureza qualiquantitativa, conforme definido por Minayo (1997), sendo as análises qualitativas e quantitativas consideradas complementares, uma vez que o tratamento combinado dos resultados enriquece as discussões finais.

Área de estudo

Os municípios analisados foram Farroupilha e Taquara, ambos localizados no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O primeiro possui uma população de 70.286 habitantes e extensão territorial de 361,34 km². O segundo, possui uma população de 53.242 habitantes e extensão territorial de 452,60 km² (IBGE, 2022).

Figura 1 – Localização dos municípios analisados



Fonte: Os autores (2025).

Análise Qualitativa – Coleta e sistematização de dados

A coleta de dados aconteceu basicamente em duas etapas: 1) dados fornecidos pela Prefeitura Municipal; 2) dados coletados com empresas prestadoras de serviço. Na primeira etapa, foram realizadas reuniões com representantes técnicos das Prefeituras, além da análise documental. Na segunda etapa, foram realizadas visitas técnicas e reuniões com os prestadores dos serviços de "bota-fora", como coleta, transporte, triagem e destinação final de RCC. Neste momento foi aplicado um questionário estruturado a respeito de quantidades geradas e a forma de manejo com os RCC.

Análise Quantitativa – Estimativa de geração de RCC *per capita*

Para ambos municípios foram aplicadas duas metodologias para estimar a geração média per capita de RCC.

A primeira metodologia segue as diretrizes do manual de orientação intitulado **"Manejo e gestão de resíduos da construção civil**: Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios" elaborado pela Caixa Econômica Federal (2005).

Este indica que para se atingir uma estimativa segura é necessário considerar três indicadores:

1. **Resíduos oriundos de edificações novas:** utiliza-se um fator de geração de RCC de 150 kg/m² construído por ano;
2. **Resíduos provenientes de reformas, ampliações e demolições:** utiliza-se o número estimado de viagens no ano pelos transportadores de RCC e multiplica-se pela massa média das caçambas;
3. **Resíduos removidos de deposições irregulares pela prefeitura:** utiliza-se o número estimado de viagens no ano para transporte de RCC e multiplica-se pela massa de resíduos transportada.

A segunda metodologia considera a **utilização de médias de geração *per capita* de RCC multiplicando pela população total do município**, utilizando dados de bibliografias consolidadas da área. As médias de geração *per capita* de RCC utilizadas nesta metodologia são baseadas em estudos publicados por órgãos vinculados ao governo federal e ao governo estadual do Rio Grande do Sul (IPEA, 2012; ABRELPE, 2021). Além disso, são utilizados dois estudos acadêmicos realizados em municípios com características semelhantes aos analisados (Bernardes *et al*, 2008; Piovezan Junior, 2007). Sendo assim, na aplicação desta metodologia, a geração *per capita* de RCC foi estimada com base na média aritmética desses dados.

A primeira metodologia possui maior precisão em relação à segunda, pois utiliza apenas dados primários. No entanto, nem sempre os municípios possuem essas informações sistematizadas, o que inviabiliza o seu uso em alguns casos. A partir da análise dos resultados obtidos para cada metodologia, foi escolhido aquela que melhor representava a realidade do município estudado.

Resultados

Farroupilha

Farroupilha possui Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil para regulamentar a geração e destinação dos RCC do município. Ainda, a Lei Municipal n° 4192/2015, que institui o Código de Posturas do município, dispõe sobre a preservação da higiene pública (Farroupilha, 2015). Além disso, há exigência, por meio da Prefeitura Municipal, de aprovação de projeto de construção ou ampliação e licen-

ça de construção, para edificações novas e reformas. Para demolições é necessária uma licença para demolição.

Destaca-se que o serviço de gestão de RCC é de reponsabilidade do gerador (incorporador, construtor, proprietário, etc). Dessa forma, é necessária a contratação de uma empresa terceirizada de coleta e disposição final destes resíduos.

Nesse sentido, o município de Farroupilha conta com duas empresas responsáveis pela coleta de RCC. Contudo, uma delas atua exclusivamente na coleta em áreas de deposição irregular. Assim, considerando que apenas uma empresa é contratada diretamente pelos geradores para realizar a coleta e destinação dos RCCs, esta foi selecionada para o desenvolvimento deste trabalho.

A empresa de coleta afirmou, por meio de sua representante, que coleta em média 40 m³/dia de RCC. Após a coleta, os resíduos são encaminhados para estação de triagem própria e, junto à estação de triagem, está localizado o aterro de resíduos inertes, de propriedade da mesma empresa. Os materiais coletados que não são passíveis de comercialização são encaminhados ao aterro. Entre os materiais comercializáveis estão madeira, volumosos, vidro e MDF, que são encaminhados para coprocessamento. A empresa também coleta gesso, que é encaminhado para reciclagem.

A empresa (Figura 4) destaca que há um crescimento no recebimento de resíduos de MDF e resíduos volumosos. Ainda, são dispostos de forma irregular Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nas caçambas de coleta de RCC, que são encaminhados para a cooperativa de reciclagem ou para coprocessamento.

Figura 4 – Localização do aterro de RCC e contêiner utilizado para coleta



Fonte: Google Earth Pro (2024)[1], Ecomondo (2020)[2].

Entre as deficiências encontradas, destaca-se a falta de um sistema de gestão de RCC implantado no município, o que incorre em: ausência

de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) específicos para RCCs; falta de fiscalização específica para pontos de deposição irregular desses resíduos; falta de ações de educação ambiental ou de ações corretivas relacionadas ao descarte de RSU em caçambas destinadas exclusivamente ao RCC; e de legislações municipais que regulamentem e estabeleçam diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão local dos resíduos da construção civil, capazes de orientar e disciplinar as ações com vistas à minimização dos impactos ambientais. Além disso, cabe ressaltar que o município possui contrato de prestação de serviço junto à empresa pública de coleta de resíduos sólidos para a coleta e transporte de resíduos provenientes da construção civil das classes A, B e C. Essa coleta é limitada a um máximo de 1 m³ por domicílio. No entanto, atualmente a empresa **não realiza a coleta RCC** dos pequenos geradores por orientação do próprio poder público de Farroupilha. Apenas ocorre a coleta de RCC em caso de áreas órfãs com deposição irregular.

Destaca-se que o município não possui um controle financeiro acerca dos serviços de RCC, impedindo o cálculo da autossuficiência financeira do setor. Além disso, não é cobrado nenhum tipo de tarifa para o serviço, dificultando melhorias na prestação dos serviços.

Em relação à geração de RCC, a comparação entre os resultados obtidos pelas metodologias aplicadas revela uma diferença de aproximadamente 20%. No entanto, considerando que a metodologia da Caixa Econômica Federal se baseia em dados primários, os quais estão disponíveis no município, optou-se por adotar os resultados dessa abordagem para estimar a média anual *per capita* de geração de RCC em Farroupilha. A partir dessa estimativa, obteve-se uma geração total de 17.426,18 t/ano e uma geração *per capita* de 247,93 kg/hab/ano.

Taquara

O município de Taquara não possui PMGRCC, nem mesmo legislações municipais que regulamentem e estabeleçam diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil em âmbito local, disciplinando as ações de forma a minimizar impactos ambientais. Há a exigência, por meio da Secretaria de Meio Ambiente, Defesa Civil e Causa Animal, de licenciamento ambiental de atividades relacionadas à movimentação de solo, construções, reformas ou demolições. É exigido aos loteadores/empreendedores um plano de

gerenciamento de resíduos sólidos, contendo estimativas de geração, destinação, etc.

Destaca-se que o serviço de gestão de RCC em Taquara também é de reponsabilidade do gerador (incorporador, construtor, proprietário, etc), sendo necessária a contratação de uma empresa terceirizada de coleta e disposição final destes resíduos.

Sendo assim, o município de Taquara possui duas empresas de coleta e destinação de RCC. Ambos estabelecimentos possuem Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. A **empresa 1** declarou que coleta aproximadamente 2 m³/dia de RCC. Os resíduos de caliça de obra são dispostos em aterro particular, os resíduos de madeira são enviados para queima, os resíduos domiciliares são encaminhados para coleta pública municipal e o MDF é enviado para coleta municipal de volumosos.

A **empresa 2** afirmou que coleta aproximadamente 30 m³/dia de RCC e que estes resíduos são provenientes, principalmente, de limpezas e reformas. Os resíduos de MDF e MDP são destinados à incineração e o papel e plástico são encaminhados à reciclagem. Ferrosos, madeiras e pneus também são coletados e encaminhados à reciclagem e coprocessamento. Na Figura 5 está apresentado o RCC durante a triagem em uma das empresas visitadas.

Figura 5 – RCC durante a triagem no município de Taquara



Fonte: Os autores (2024).

Entre as deficiências encontradas, destaca-se também a falta de um sistema de gestão de RCC implantado no município, o que incorre em: ausência de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) específicos para RCCs; falta de fiscalização específica para pontos de deposição irregular de RCC no município; ausência de fiscalização do cumprimento das atividades contidas no plano de gerenciamento de resíduos; falta de equipe técnica responsável pelo gerenciamento desses resíduos; ausência de

campanhas de limpeza de áreas de depósitos irregulares; ausência de ações de educação ambiental; e falta de controle financeiro, impedindo o cálculo da autossuficiência financeira do setor. Além disso, ressalta-se que não há nenhum tipo de cobrança de tarifa, dificultando a realização de melhorias na prestação dos serviços.

Em relação à geração de RCC, ao comparar os resultados obtidos pelas metodologias aplicadas, observa-se uma divergência significativa entre os valores. Essa diferença decorre da ausência de dados primários completos no município, o que inviabiliza a aplicação da primeira metodologia. Assim, optou-se pela adoção da segunda metodologia, que, embora utilize dados secundários, apresenta resultados mais condizentes com a realidade local. A geração total estimada foi de 10.445,55 t/ano, com uma geração *per capita* de 196,19 kg/hab/ano.

Análise comparativa entre os municípios

No Quadro 2 está apresentada uma análise comparativa entre os dois sistemas de gestão, sintetizando os dados supracitados. No município de **Farroupilha** foi utilizada a metodologia da Caixa Econômica Federal (2005) para a estimativa da geração *per capita* de RCC, pois o município possuía dados primários que permitiam a sua aplicação. Para **Taquara**, devido à ausência de dados primários, foi aplicada a metodologia de médias de geração *per capita.*

Quadro 2 – Análise comparativa entre os municípios

Município	Farroupilha	Taquara
Geração *per capita* (kg/hab.ano)	247,93	196,19
Sistema de gestão implantado	Não	Não
Empresas de coleta	Duas empresas: uma empresa pública de coleta apenas de depósitos irregulares, uma empresa privada de coleta e disposição	Duas empresas privadas de coleta e disposição
Controle financeiro/ Cobrança de tarifas	Não	Não
Fiscalização	Não	Não

Depósitos irregulares	Realizam fiscalização e remoção	Apenas agem mediante denúncias
Plano de Gerenciamento / Licenciamento/ Aprovação de projeto	Possui PMGRCC/possui regras para licenciamento ambiental/exige aprovação de projeto e não exige elaboração de Plano de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil (PGIRCC) para grandes geradores	Não possui PMGRCC/ possui regras para licenciamento ambiental/ exige aprovação de projeto e não exige elaboração de Plano de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil (PGIRCC) para grandes geradores
Responsabilidade da gestão de RCC	Responsabilidade do gerador	Responsabilidade do gerador
Normativas legais específicas	Não possui	Não possui

Fonte: Os autores (2025).

A análise comparativa realizada permite concluir que, embora ambos os municípios não possuam um sistema de gestão plenamente implantado, Farroupilha apresenta uma vantagem em relação à Taquara. Essa vantagem decorre da existência de um PMGRCC, da disponibilidade de dados primários para o cálculo da geração de RCC e da presença de uma equipe dedicada à fiscalização e à remoção de resíduos em áreas de deposição irregular. No entanto, ambos os municípios necessitam de avanços na implementação de um sistema específico para a gestão de RCC, incluindo a exigência de PGIRCC para grandes geradores, a aplicação de tarifas e a adoção de um controle financeiro para a prestação desse serviço. Farroupilha dispõe de dados primários relevantes, mas carece de controle financeiro. Taquara enfrenta limitações mais severas, como ausência de dados primários, de regulamentações e de fiscalização estruturada, o que dificulta o avanço na gestão dos resíduos.

A fim de aprimorar a gestão de RCC de ambos municípios se propõe a implementação de um sistema de gestão de RCC municipal, que contenha: fiscalização de deposições irregulares; controle financeiro, por meio da cobrança de tarifas; e exigência da elaboração de PGIRCC para grandes geradores. Além disso, destaca-se a importância da execução de um PMGRCC, bem como da elaboração de legislações específicas acerca do tema.

Conclusões

A análise dos PMGRCCs de Farroupilha e Taquara revelou desafios e oportunidades no gerenciamento de resíduos da construção civil destes municípios. Apesar dos avanços legais e técnicos, a implementação de práticas sustentáveis ainda enfrenta barreiras, como a falta de normativas municipais específicas e dados consistentes. Farroupilha se destaca devido aos dados primários fornecidos e, por consequência, uma estimativa mais fiel da geração *per capita*, enquanto Taquara demonstra limitações no fornecimento de dados primários e na estimativa de geração. Este estudo reforça a importância de integrar políticas públicas, iniciativas privadas e ações educativas para aprimorar o gerenciamento de RCC, promovendo a economia circular e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Referências

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. 2022. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acesso em: 27 jan. 2023.

BERNARDES, Alexandre *et al.* **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS**. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5699/4306. Acesso em: 15 fev. 2021.

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. 2002. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303. Acesso em: 08 jul. 2024.

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 448 de 18/01/2012**. 2002. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=116060. Acesso em: 20 jan. 2025.

BRASIL. IBGE. Em 2022, ocupação na indústria da construção cresce 4,4% e serviços especializados ganham participação no valor de obras do setor . 2022. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br. Acesso em: 08 jul. 2024.

BRASIL. **Lei Federal n° 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Brasília, DF. 2010a.. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 19 fev. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 348**, de 16 de agosto de 2004. Brasília, DF. 2004. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449. Acesso em: 19 fev. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA n°431**, de 24 de maio de 2011. Brasília, DF. 2011. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649. Acesso em: 19 fev. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 469**, de 29 de julho de 2015. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714. Acesso em: 24 fev. 2021.

CAIXA. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**: Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Volume 1. 2005a. ISBN: 85 – 86836-04-4.

ECOMONDO. **Tele entulho Ecomondo Farroupilha**. Farroupilha, 14 ago. 2020. Facebook: Tele entulho Ecomondo Farroupilha. Disponível em: https://www.facebook.com/ecomondofarroupilha/. Acesso em: 08 out. 2024 .

FARROUPILHA. **Lei Municipal Nº 4.192, de 09 de dezembro de 2015**. Farroupilha, RS, Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/rs/f/farroupilha/lei-ordinaria/2015/420/4192/lei-ordinaria-n-4192-2015-institui-o-codigo-de-posturas-do-municipio-de-farroupilha-e-da-outras-providencias. Acesso em: 21 jan. 2025.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. Porto Alegre: Penso, 2013.

GIL, AC Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

IBGE. **Cidades e estados do Brasil**. 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 21 jan. 2025.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2012. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil** – Relatório de Pesquisa. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911 _relatorio_const rucao_civil.pdf. Acesso em: 15 mar. 2019.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. E-book. Disponível em https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 08 jul. 2024.

PIOVEZAN JÚNIOR, Gilson Tadeu Amaral. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. 2007, 76 p. Disponível em: https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-13686/avaliacao-dos-residuos-da-construcao- civil-rcc-gerados-no-municipio-de-santa-maria. Acesso em: 15 fev. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA N° 109**, 22 de setembro de 2005. Disponível em: https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/30150536-resolucao-109- 05-residuos-da-construcao-civil.pdf. Acesso em: 23 fev. 2021.

Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea em área de influência de um Parque Aquático

William Luan Deconto[1], Marina Elizabete Zorge[2], Juliano Rodrigues Gimenez[3], Vania Elisabete Schneider[4], Vania Barbosa[5]

[1, 2, 3,] *Instituto de Saneamento Ambiental (UCS), emails: wldeconto@ucs.br, dperesin@ucs.br mezorge@ucs.br, jrgimene@ucs.br.*

[4]*Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC) e Recursos Hídricos (PRORH), Instituto de Pesquisas sobre Desastres, Universidade Federal de Sergipe (UFS)*

[5] *ambiental@acqualokos.com.br*

Resumo: A qualidade da água subterrânea é fundamental para a preservação ambiental, o abastecimento humano e atividades recreativas, exigindo monitoramento contínuo devido à possibilidade de contaminação por fontes antrópicas. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água subterrânea em área de um parque aquático durante três anos, comparando os resultados com os padrões da Resolução CONAMA 396/2008 e analisando as variações sazonais. Os resultados indicaram que os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Nitratos, Nitritos e Sulfatos estavam dentro dos limites permitidos, enquanto o Alumínio Total ultrapassou os Valores Máximos Permitidos para usos recreativos em algumas campanhas. A composição do solo local pode justificar os níveis elevados de alumínio. Os resultados evidenciam a necessidade do monitoramento contínuo para acompanhar a evolução desses parâmetros, adotar medidas preventivas para mitigar possíveis impactos aos usuários da água subterrânea.

Palavras-chave: águas subterrâneas, monitoramento ambiental, qualidade da água, lençol freático, recursos hídricos.

Assessment of Groundwater Quality in the Area of Influence of a Water Park

Abstract: Groundwater quality is essential for environmental preservation, human supply, and recreational activities, requiring continuous monitoring due to the possibility of contamination from human-caused sources. This study aimed to evaluate groundwater quality in a water park area over three years, comparing the results with the standards of CONAMA Resolution 396/2008 and analyzing seasonal variations. The results indicated that the parameters Thermotolerant Coliforms, Nitrates, Nitrites, and Sulfates were within the permitted limits, while Total Aluminum exceeded the Maximum Permitted Values for recreational uses in some campaigns. The local soil composition may justify the elevated aluminum levels. The results highlight the need for

continuous monitoring to track the evolution of these parameters and adopt preventive measures to mitigate potential impacts on groundwater users.

Keywords: groundwater, environmental monitoring, water quality, water table, water resources.

Introdução

As águas subterrâneas possuem um papel fundamental na perenidade de rios, abastecimento humano e demais atividades econômicas e de lazer (ANA, 2007 *apud* REZENDE, 2023). No entanto, as águas subterrâneas sofrem alto risco de contaminação por fatores antrópicos, podendo levar ao comprometimento da sua capacidade para atendimento das demandas para atividades humanas e envolvendo altos investimentos para a sua remediação (REZENDE, 2023). Nesse contexto, o monitoramento qualiquantitativo é fundamental no sentido de subsidiar a tomada de decisões mais assertivas em relação a preservação das águas subterrâneas. A instalação de piezômetros permite o monitoramento dos níveis da água e o acesso a essas para coleta de amostras com vistas a avaliação da qualidade da água.

O enquadramento das águas subterrâneas em relação ao seu uso é estabelecido pela Resolução n° 396 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2008) a qual dispõe sobre a classificação e as diretrizes de enquadramento para 6 diferentes classes:

Classe Especial: Destinados a preservação de ecossistemas, conservação de proteção integral, contribuem diretamente com as águas superficiais;

Classe 1: Não apresentam alterações de qualidade por atividades antrópicas, não exigem tratamento de nenhum tipo;

Classe 2: Não apresentam alterações de qualidade por atividades antrópicas, podem exigir tratamento dependendo do uso a qual se destina;

Classe 3: Apresentam alterações de qualidade da água por conta de ações antrópicas, podendo ser realizado o tratamento adequado dependendo do uso a qual se destina;

Classe 4: Apresentam alterações de qualidade da água por conta de ações antrópicas, e somente poderão ser utilizados sem tratamento para atividades recreativas;

Classe 5: Apresentam alterações de qualidade da água por conta de ações antrópicas, e somente poderão ser utilizadas em atividades que não dependam de sua qualidade para uso (BRASIL, 2008).

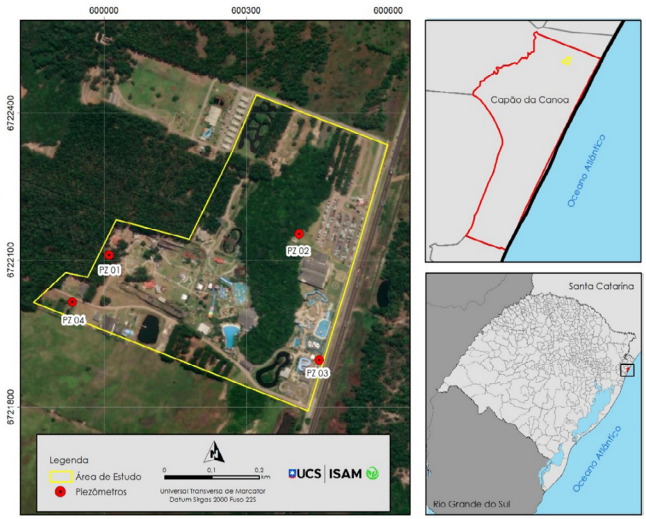
Para cada Classe são estabelecidos os Valores Máximos Permitidos (VMP) para parâmetros físico, químico e biológico dependendo do uso requerido. Em se tratando de parques aquáticos em que a água é utilizada para fins recreativos de contato direto a qualidade da água é fator primordial. O seu uso no entanto pode resultar, além da extração em impactos sobre a qualidade considerando-se o uso de produtos químicos nas piscinas e a geração de efluentes, podendo afetar o lençol freático por meio da infiltração no solo. Além disso, a movimentação constante de pessoas e a infraestrutura do empreendimento podem intensificar a contaminação hídrica, tornando essencial o monitoramento contínuo da água subterrânea. Nesse contexto, é crucial avaliar a qualidade das águas subterrâneas, levando em conta os impactos específicos dessa atividade.

Este estudo objetivou avaliar os possíveis efeitos ambientais das instalações de um parque aquático, localizado na planície sedimentar da região litorânea norte do Rio Grande do Sul através da análise de parâmetros físico-químicos em amostras de água extraídas de piezômetros instalados no empreendimento comparativamente aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008. A escolha por essa resolução objetiva avaliar a conformidade da água subterrânea com padrões de qualidade compatíveis com a atividade do parque, muito embora a água não seja utilizada diretamente nas piscinas. A identificação de tendências e variações ao longo do tempo, permitem antecipar e mitigar riscos ambientais e à saúde pública decorrentes desse tipo de atividade. O empreendimento possui licença de operação concedida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que obriga a realização do monitoramento das águas subterrâneas, conforme os parâmetros definidos no artigo 14 da Portaria FEPAM nº 68/2019, incluindo a análise do parâmetro Alumínio Total. O estudo foi conduzido a partir de resultados obtidos ao longo de três anos, a fim de identificar padrões sazonais e as variações no tempo dos parâmetros exigidos pela FEPAM.

Metodologia

Para avaliar a variação e tendência da qualidade da água subterrânea, foram realizadas amostragens em quatro poços de monitoramento (piezômetros), estrategicamente localizados em um parque aquático no litoral norte do Rio Grande do Sul (Figura 1). A análise incluiu 9 parâmetros, conforme estabelecido pela Portaria FEPAM n° 68/2019 (FEPAM, 2019) e pela licença de operação do empreendimento. Como apenas 4 desses 9 parâmetros possuem Valores Máximos Permitidos (VMP) definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para Usos Preponderantes da Água na recreação, foram estes os definidos para análise nesse estudo. A seleção desses pontos (poços) considerou a maior vulnerabilidade à contaminação, visando representar adequadamente os impactos ambientais decorrentes das atividades do empreendimento. Foram realizadas seis campanhas de monitoramento com periodicidade semestral, nos meses de abril e outubro, no período de 2022 a 2024. A amostragem foi conduzida conforme os protocolos estabelecidos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2023), no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24ª edição (APHA, 2023), e na norma ABNT NBR 15847:2010. As amostras foram armazenadas em recipientes esterilizados, com os preservantes adequados e mantidas sob refrigeração controlada entre 0°C e 6°C. O transporte foi realizado em condições controladas para garantir a integridade das amostras. As análises laboratoriais seguiram metodologias padronizadas descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2023) e de procedimentos do laboratório, abrangendo a determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Figura 1: Localização dos pontos de amostragem no parque aquático

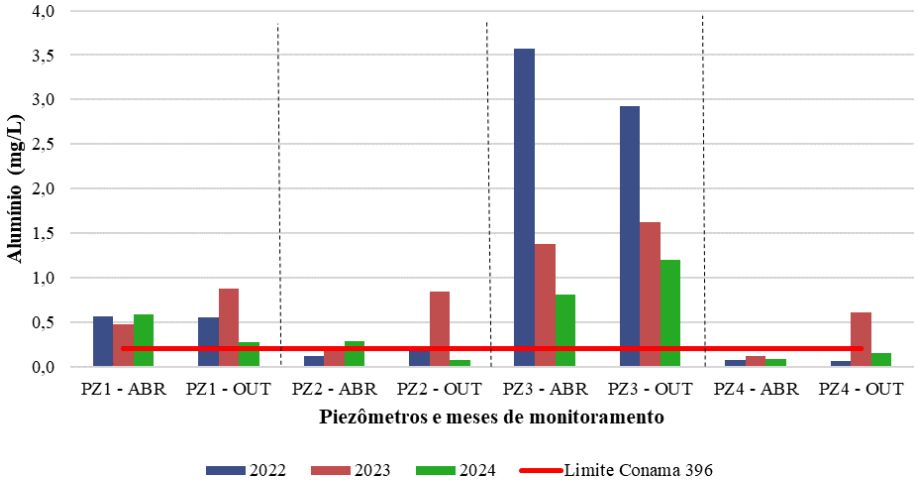


Fonte: Autores (2025).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008 para Usos Preponderantes da Água na Recreação. Os parâmetros analisados, Coliformes Termotolerantes, Nitratos, Nitritos e Sulfatos, mantiveram-se abaixo dos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela resolução. Os VMPs para esses parâmetros são: 1000/100 mL para Coliformes Termotolerantes, 10 mg/L para Nitratos, 1 mg/L para Nitritos e 400 mg/L para Sulfatos. Durante o período de monitoramento, os valores médios desses parâmetros ficaram dentro dos limites permitidos, sem variações significativas entre os meses. Entretanto, o parâmetro de Alumínio Total apresentou valores superiores ao VMP de 0,2 mg/L em algumas campanhas, conforme evidenciado na Figura 2. Picos de concentração foram detectados em determinados períodos de amostragem, o que pode estar associado à composição geológica da região. Destaca-se que o solo do litoral gaúcho, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SBCS (EMBRAPA, 2018 *apud* RIO GRANDE DO SUL, 2024), é predominantemente composto por Neossolos e Planossolos, que possuem altas quantidades de alumínio em sua composição (EMBRAPA, 2021).

Figura 2 – Resultado de Alumínio Total e Limite para Recreação pela CONAMA n° 396/2008 entre os anos de 2022 e 2024 nos piezômetros analisados



Fonte: Autores (2025).

Os resultados evidenciam padrões distintos de variação na concentração de Alumínio Total ao longo do período monitorado. Amostras oriundas do piezômetro 1 (PZ1) apresentaram valores consistentemente elevados nas campanhas de outubro em todos os anos analisados, em comparação com os valores obtidos em abril. Essa tendência pode indicar um aumento sazonal da mobilidade do alumínio no solo, possivelmente influenciado por variações climáticas ou hidrodinâmicas. Amostras oriundas do piezômetro 2 (PZ2) apresentaram concentrações relativamente estáveis entre abril e outubro na maioria das campanhas. No entanto, houve um aumento significativo na amostragem de outubro de 2023, sugerindo uma influência pontual de fatores externos, ou mudanças nas condições geoquímicas do lençol subterrâneo. As amostras do piezômetro 3 (PZ3) demonstraram variações consideráveis ao longo dos anos, com concentrações acima dos limites estabelecidos nas campanhas de abril e outubro de 2022 e abril de 2024. Esses resultados indicam que esse piezômetro pode estar localizado em uma área de maior suscetibilidade à lixiviação do alumínio a partir do solo. O piezômetro 4 (PZ4) apresentou concentrações variáveis entre as campanhas, mas, de maneira geral, manteve-se abaixo dos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela CONAMA 396/2008 para esse parâmetro, com exceção da amostragem realizada em outubro de 2023.

As flutuações nos níveis de Alumínio Total observadas nos diferentes piezômetros sugerem que fatores sazonais, composição geológica e possíveis interações antrópicas influenciam a presença desse elemento na água subterrânea. Estudos futuros podem incluir a avaliação da acidez do solo e da água subterrânea para compreender melhor a mobilidade do alumínio e seus potenciais impactos para os usuários da água subterrânea na região.

Considerações finais

Os resultados obtidos demonstram que, embora a maioria dos parâmetros analisados tenha permanecido dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008, as concentrações de Alumínio Total apresentaram variações relevantes ao longo do período de monitoramento. Essas flutuações podem estar associadas a fatores sazonais e à composição geológica da região, indicando a necessidade de um acompanhamento contínuo para melhor compreensão da dinâmica desse elemento na água subterrânea.

O monitoramento dos piezômetros revelou que algumas áreas apresentaram concentrações de alumínio mais elevadas em determinados períodos, reforçando a importância de estratégias de gestão voltadas para a preservação da qualidade da água subterrânea. A identificação de padrões sazonais e a relação com fatores ambientais e antrópicos possibilitam a adoção de medidas preventivas para minimizar impactos ambientais. Recomenda-se que estudos futuros investiguem a influência de variáveis geoquímicas, como a acidez do solo e a dinâmica hidrológica, para melhor compreender a mobilidade do alumínio na região. Além disso, a ampliação do monitoramento para outros parâmetros pode contribuir para um diagnóstico mais completo da qualidade da água subterrânea e seu potencial uso em diferentes atividades.

Por fim, os resultados evidenciam a necessidade de integração entre monitoramento ambiental e políticas de gestão dos recursos hídricos, assegurando o uso sustentável da água subterrânea e a preservação da qualidade ambiental na região estudada.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 15847**: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento, métodos de purga. Rio de Janeiro, jul. 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods of examination of water and wastewater**. 24st ed. Washington, 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 396/2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 07 abr. 2008.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; ANA, Agência Nacional de Águas. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes líquidos. 2023. Brasília-DF.

EMBRAPA.**SolosTropicais.**2021.Disponívelem: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/ch ave-do-sibcs/neossolos. Acesso em: 13 fev. 2025.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Licença de Operação n° 03255/2024**.

Dispõe sobre a licença de operação da LOKOS ENTRETENIMENTO, LAZER E TURISMO EIRELI e informa as condições e restrições. 2024.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Portaria FEPAM n° 68/2019.** Dispõe sobre os critérios para disposição final de efluentes líquidos sanitários e efluentes líquidos industriais em solo no Estado do Rio Grande do Sul. 2019.

MINDÊLLO, Francisco Moreira. **Definição dos níveis de controle de piezômetros e medidores de nível d'água de uma barragem : uma abordagem estatística.** 2024. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

REIS REZENDE, Caroline; VIÉGAS CAMPOS, José Cláudio; SOUZA REIS MELO, Vanessa; SAMPAIO MACHADO, Carolina; MILLA DOS SANTOS SENHUK, Ana Paula; CARNEIRO FERREIRA, Deusmaque. Qualidade da água subterrânea na área urbana de Uberaba-MG: avaliação de risco à saúde. **Scientia Plena,** *[S. l.]*, v. 19, n. 2, 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. **Tipos de Solos.** 2024. Disponívelem:

https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/solos#:~:text=Considerando%20o%20Sistema%20Brasile iro%20de,%2C%20Neossolo%2C%20Latossolo%20e%20Nitossolo. Acesso em: 13 fev. 2025.

Utilização de agregados reciclados na produção de concretos: uma análise de viabilidade

Caroline Viganó Rech[1], Maurício Schafer[2], Gustavo Ribeiro da Silva[3]
[1]Universidade de Caxias do Sul /UCS (cvrech@ucs.br)
[2]Universidade de Caxias do Sul /UCS (mschafer@ucs.br)
[3]Universidade de Caxias do Sul /UCS (grsilva17@ucs.br)

Resumo: O setor da construção civil no Brasil é economicamente significativo, mas também é responsável por uma alta geração de resíduos sólidos. Uma alternativa sustentável para reduzir o impacto ambiental proveniente da categoria é reaproveitar os Resíduos da Construção Civil (RCC) no próprio setor, especialmente na fabricação de materiais cimentícios, como concretos e argamassas, substituindo agregados naturais por reciclados. Neste trabalho foram analisados três tipos de concreto: um concreto de referência com agregados naturais; um concreto S40, onde 40% dos agregados graúdos naturais foram substituídos por reciclados sem pré-molhagem; e um concreto S40P, com a mesma substituição, mas utilizando agregados reciclados pré-molhados. Foram realizados ensaios no estado fresco (abatimento e massa específica) e endurecido (resistência mecânica e absorção de água por capilaridade). Os resultados indicam que a pré-molhagem dos agregados reciclados melhora as propriedades mecânicas do concreto, viabilizando seu uso na construção civil. Embora sejam necessários mais estudos sobre o uso de resíduos cerâmicos como agregados graúdos, a pesquisa demonstra a viabilidade do reaproveitamento desses materiais, promovendo a economia circular e reduzindo a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente.

Palavras-chave: Concreto. Resíduos da Construção Civil. Reciclagem.

Use of Recycled Aggregates in Concrete Production: A Feasibility Analysis

Abstract: The construction sector in Brazil is economically significant but also contributes to the generation of solid waste. A sustainable alternative to mitigate the environmental impact involves reusing Construction and Demolition Waste (CDW) within the sector, particularly in producing cementitious materials, such as concrete and mortar, by replacing natural aggregates with recycled ones. This study analyzed three types of concrete: a reference concrete produced with natural aggregates; an S40 concrete, where 40% of the natural coarse aggregates were replaced with recycled aggregates without pre-wetting; and an S40P concrete, with the same replacement but utilizing pre-wetted recycled aggregates. Tests were conducted on the fresh state (slump and specific mass) and the hardened state (mechanical strength and

water absorption by capillarity). The results indicate that pre-wetting recycled aggregates improves the mechanical properties of concrete, making it viable for use in construction. Although further studies on the use of ceramic waste as coarse aggregate are required, this research demonstrates the feasibility of reusing such materials, promoting a circular economy, and reducing the improper disposal of waste in the environment.

Keywords: Concrete. Construction and Demolition Waste. Recycling.

Introdução

A construção civil desempenha um papel fundamental na economia brasileira, mas também é uma grande fonte geradora de resíduos (Nagalli, 2014). Os Resíduos da Construção Civil (RCC), provenientes de obras, demolições e escavações, incluem materiais como cerâmica, rochas, metais e madeira (Brasil, 2002). Em 2023, mais de 44 milhões de toneladas de RCC foram coletadas no Brasil (ABRELPE, 2024).

O concreto, principal material da construção civil, é composto por agregados, aglomerante e água, formando uma liga moldável usada em diversas etapas da construção (Couto *et al.*, 2013). Dada sua ampla utilização e a alta geração de resíduos, surge a possibilidade de incorporar RCC como agregados no concreto. Para Passos, Junior e Gomes (2020), a inserção de resíduo cerâmico substituindo o agregado graúdo, nos concretos analisados em sua pesquisa, mostraram viabilidade técnica e bom desempenho para aplicação em concretos de cimento Portland com ou sem fins estruturais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades de três concretos: um concreto de referência fabricado de forma tradicional; um com 40% de resíduos como agregado graúdo, sem pré-molhagem; e outro com 40% de resíduos com pré-molhagem. A pesquisa busca apresentar uma alternativa sustentável à construção civil tradicional, promovendo a reutilização de resíduos e incentivando a economia circular.

Materiais e métodos

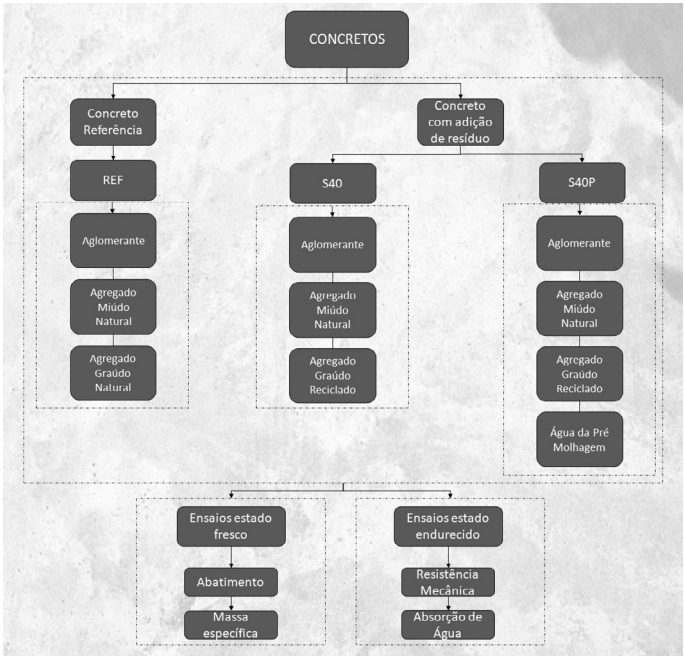
Para o desenvolvimento desta pesquisa foram empregadas as seguintes normas técnicas brasileiras referentes ao concreto:

- NBR 16889/2020: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;

- NBR 5738/2015: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;
- NBR 9833/2008: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico;
- NBR 9779/2012: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade;
- NBR 5739/2018: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndrico.

Para atingir os objetivos propostos, foram dosados três diferentes concretos: um concreto referência (REF), executado com Cimento Portland CP II – F, agregado miúdo natural (areia média de rio) e agregado graúdo natural (brita n° 1); um concreto S40, executado com Cimento Portland CP II – F, agregado miúdo natural (areia média de rio) e inserção de 40% agregado graúdo reciclado (material cerâmico), sem a realização de pré-molhagem no agregado reciclado; e um concreto S40P, executado com Cimento Portland CP II – F, agregado miúdo natural (areia média de rio) e inserção de 40% de agregado graúdo reciclado (material cerâmico), com a realização de pré-molhagem no agregado reciclado. O fluxograma metodológico está apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma metodológico



Fonte: Os autores (2024).

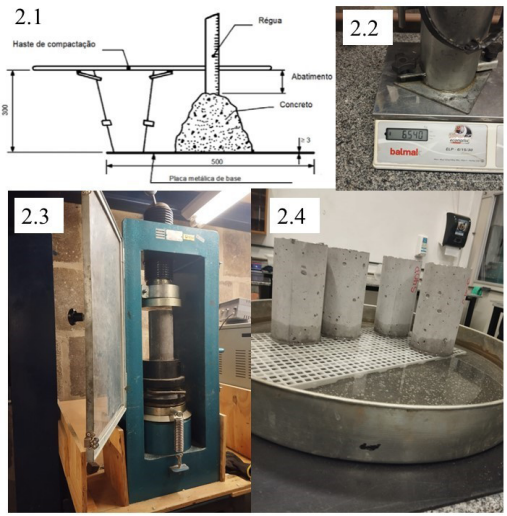
O método de dosagem utilizado foi o Método IPT/EPUSP, desenvolvido por Helene e Terzian (1993) e o traço adotado foi 1:5.

Após a dosagem dos concretos foram realizados os ensaios no estado fresco. Primeiramente foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (Figura 2.1), executado conforme determina a norma brasileira (Brasil, 2020). Após a moldagem dos corpos de prova, realizou-se o ensaio de massa específica (Figura 2.2). Este ensaio é realizado dividindo a massa de concreto do corpo de prova pelo volume do objeto (Brasil, 2008). Como foram moldados quatro corpos de prova, foi realizada uma média entre os valores de massa específica obtidos.

Para o concreto endurecido foi realizado o ensaio de resistência mecânica, para avaliar a resistência à compressão uniaxial dos concretos dosados (Brasil, 2018). Este ensaio foi realizado, para os três concretos, aos 14 e aos 28 dias (Figura 2.3). Ainda para o concreto endurecido, foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade, que representa a capacidade de absorção que o material possui por meio de sua porosi-

dade (Brasil, 2012). Este ensaio é realizado obtendo a massa inicial do corpo de prova e sua massa saturada, após 3, 6 e 72 horas inserido em um recipiente com lâmina d'água (Figura 2.4).

Figura 2 – Ensaios de abatimento[1], massa específica[2], compressão axial[2] e absorção de água por capilaridade[2]



Fonte: Brasil (2020)[1], Autores (2024)[2].

Concreto Referência

Para o concreto referência, o agregado graúdo natural utilizado foi a brita n° 1 e o peso a ser utilizado na dosagem foi fixado em 12 kg. Inicialmente a brita foi adicionada à betoneira juntamente com uma fração de água, após o Cimento Portland CP II – F e, por fim, a areia média. Durante o processo, foi-se adicionando e variando a proporção dos demais materiais até atingir o teor de argamassa ideal, utilizando por base o valor obtido pelo ensaio de abatimento. Foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura (Figura 3). Ao final foram realizados os ensaios para o concreto fresco e, após a cura, foram realizados os ensaios para o concreto endurecido.

Figura 3 – Moldagem dos quatro corpos de prova do concreto de referência



Fonte: Os autores (2024).

Concreto com inserção de resíduo

Para os concretos S40 e S40P (Figura 4) foi adicionado 40% de agregado graúdo reciclado e 60% de agregado graúdo natural. O agregado reciclado adicionado aos concretos é material cerâmico, residual de obra, moído em moinho de mandíbula. Para a inserção deste resíduo é necessário calcular uma compensação do volume de agregado (Fórmula 1), pois a massa específica do agregado natural (2,4 g/cm³) é maior do que a massa específica do agregado reciclado (1,5 g/cm³). (1)

$$Mar = \frac{Man\ x\ \gamma R}{\gamma N}$$

$$Mar = \frac{(12 - 7{,}2)x\ 1{,}5}{2{,}4} = 3{,}00\ kg$$

Dessa forma, para ambos concretos com inserção de agregado reciclado serão adicionados 3,00 kg de agregado reciclado e 7,20 kg de agregado natural.

Para o concreto S40P, sendo o agregado reciclado um material mais poroso que o agregado natural, é necessário realizar um cálculo de absorção total de água (Fórmula 2), para identificar quanta água este agregado é capaz de absorver. A partir do cálculo da absorção total de água é realizada uma compensação do volume da água (Fórmula 3). Ainda, para o concreto S40P foi realizada uma pré-molhagem do agregado reciclado, equivalente a 80% do valor de absorção total de água. A pré-molhagem é realizada com 80% da absorção total, pois é necessário

que o agregado reciclado não esteja 100% hidratado, para facilitar sua aderência com a pasta de argamassa.

$$A_{Sat24} = MR\ x\ \frac{[\![(ABS]\!]_{24h})}{100} = 0{,}79$$

$$Ac = A_{Sat24} - A_{AN} - A_{Pré} = -0{,}2$$

A absorção de água calculada para o agregado reciclado foi de 0,79 kg, sendo assim, a pré-molhagem realizada para o agregado reciclado foi de 0,63 kg, equivalente a 80% da absorção. Quanto ao cálculo de compensação de água, o valor obtido indica que é necessário descontar 0,2 kg do total de água utilizado para o concreto referência na produção do concreto S40P.

Figura 4 – Moldagem dos corpos de prova dos concretos S40 e S40P



Fonte: Os autores (2024).

Sendo assim, os valores finais de aglomerante, agregado miúdo natural, agregado graúdo natural, agregado graúdo reciclado e água utilizados na dosagem dos concretos REF, S40 e S40P estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores utilizados na dosagem dos concretos REF, S40 e S40P

	Aglomerante (kg)	Agregado miúdo natural (kg)	Agregado graúdo natural (kg)	Agregado graúdo reciclado (kg)	Absorção de água total	Água da pré-molhagem 80%	Água da mistura (kg)
REF	4,44	10,22	12	-	-	-	2,982
S40	4,44	10,22	7,2	3	-	-	3,423
S40P	4,44	10,22	7,2	3	0,79	0,63	2,717

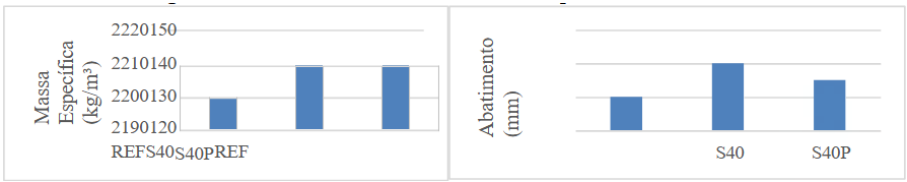
Fonte: Os autores (2024).

1 Resultados e análises

A partir da metodologia proposta foram obtidos os resultados para os ensaios do concreto fresco e do concreto endurecido e foi possível comparar, entre os três concretos dosados, estes valores. Para os ensaios realizados com o concreto fresco obteve-se o valor de massa específica bastante similar entre os concretos, sendo a massa específica do concreto REF, 1% menor que o valor obtido para ambos concretos com inserção de resíduo (Figura 5).

Ainda sobre os ensaios realizados com o concreto fresco, obtém-se um valor para o abatimento dos concretos (Figura 5) bastante similar, tendo o concreto S40 o maior abatimento, o concreto REF obtendo um valor 8% menor e o concreto S40P 4% menor.

Figura 5 – Ensaios concreto fresco: Massa específica e Abatimento



Fonte: Os autores (2024).

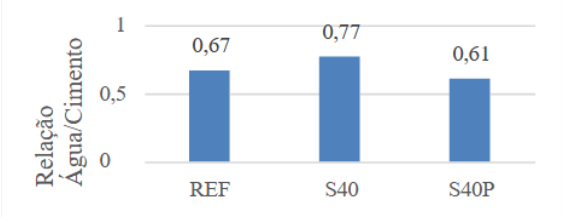
Os concretos com inserção de resíduo apresentaram massa específica semelhante, o que era esperado, dado o mesmo percentual de agregado natural e reciclado em ambos. A diferença observada em relação ao concreto de referência pode ser atribuída às dimensões dos moldes ou ao adensamento inadequado durante a moldagem (Helene e Terzian, 1993). Normalmente, concretos com apenas agregados naturais possuem maior massa específica, já que os reciclados são mais porosos e menos densos. Conforme Meert, Hastenpflug e Andrade (2021), concretos com resíduos reciclados, como lodo de Estação de Tratamento de

Água, tendem a ser mais leves devido à maior porosidade associada à menor massa específica do material utilizado.

O resultado encontrado para o abatimento do concreto S40 pode ser justificado considerando o maior percentual de água utilizado na fabricação deste concreto. Ainda, o valor de abatimento pode ser relacionado com a relação água/cimento utilizada (Figura 6). No entanto, o valor de abatimento para o concreto S40P ser menor que o valor obtido para o concreto REF pode ser justificado levando em consideração o formato das partículas do agregado reciclado.

A geometria do agregado influencia na capacidade deste se adensar com a pasta de argamassa. O agregado cerâmico utilizado neste caso possui um formato lamelar e uma superfície relativamente lisa em comparação com o agregado basáltico, causando assim um aumento nos resultados de abatimento (Campos; Mazini; da Silva Neto, 2012).

Figura 6 – Relação água/cimento entre os concretos

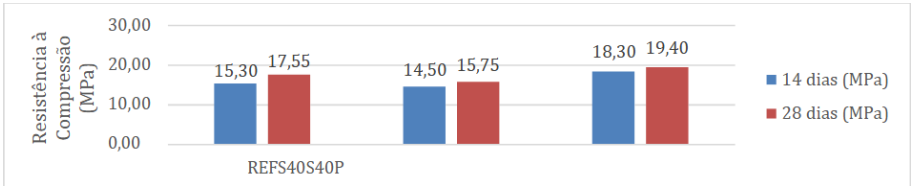


Fonte: Os autores (2024).

A maior relação A/C utilizada foi para o concreto S40, que apresenta o maior resultado de abatimento e que possui o maior teor de água entre as misturas. Ainda, seguindo a mesma justificativa, o concreto S40P possui o menor teor de água entre as três dosagens, possuindo assim a menor relação A/C.

Referente aos ensaios efetuados com o concreto endurecido, foi realizado o ensaio de compressão uniaxial aos 14 e aos 28 dias de cura, para dois corpos de prova de cada uma das três dosagens. Os resultados médios obtidos para estes ensaios estão apresentados na Figura 8.

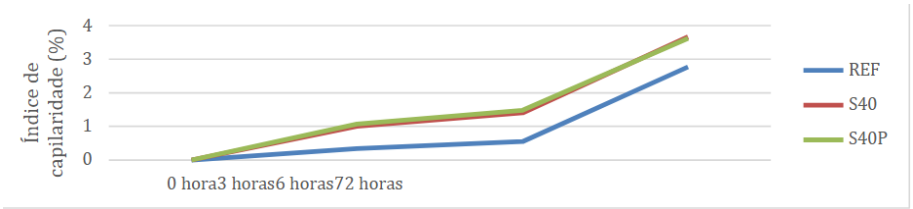
Figura 8 – Ensaios concreto endurecido: Resistência à compressão



Fonte: Os autores (2024).

Os resultados mostram um aumento na resistência entre os 14 e os 28 dias de cura para todas as amostras. Observou-se que a resistência à compressão está relacionada à relação A/C: a menor relação A/C gerou maior resistência, enquanto a maior relação A/C resultou na menor resistência. O concreto S40P teve uma resistência 19% maior que o S40 e 10% maior que o concreto de referência aos 28 dias. Segundo Padovan (2013), concretos com resíduos e menor relação A/C, quando com pré-molhagem entre 60 e 80%, apresentam aumento na resistência, o que corrobora com os resultados desta pesquisa. Por fim, o último teste realizado com o concreto no estado endurecido foi o teste de absorção de água por capilaridade (Figura 9).

Figura 9 – Ensaios concreto endurecido: Absorção de água por capilaridade



Fonte: Os autores (2024).

Os três concretos apresentaram curvas semelhantes, mas o concreto REF teve uma absorção de água 22% menor que o S40 e 20% menor que o S40P. Essa diferença pode ser explicada pela menor porosidade do agregado natural utilizado no concreto REF em comparação com o agregado reciclado. Além disso, houve uma diferença na absorção de água entre o S40 e o S40P, apesar de ambos utilizarem os mesmos tipos e quantidades de agregados. Isso pode ser atribuído ao processo de pré-molhagem do agregado reciclado no concreto S40P. A absorção também está relacionada à relação A/C, sendo que a maior relação A/C apresentou maior absorção de água por capilaridade. No entanto, o S40P, com menor relação A/C e pré-molhagem, apresentou melhor

desempenho que o S40. Segundo Padovan (2013), concretos com 80% de pré-molhagem apresentam redução na relação A/C e nos coeficientes de absorção de água por capilaridade.

Considerações Finais

O uso de resíduo cerâmico como agregado reciclado foi eficaz, com bons resultados nos ensaios de concreto fresco e endurecido. O concreto S40P, com pré-molhagem do agregado reciclado, teve desempenho superior ao concreto de referência, mostrando ser uma opção mais sustentável e de melhor desempenho em comparação ao concreto tradicional.

Apesar disso, a utilização desse resíduo enfrenta desafios, como a dificuldade de separação adequada do RCC, inserção na matriz industrial e a heterogeneidade dos materiais. Mesmo bem separados, os diferentes tipos de cerâmica dificultam a replicação dos resultados.

Ainda assim, o material mostra potencial para aplicação na construção civil, especialmente com pré-molhagem. Recomenda-se explorar o uso de outros resíduos, materiais heterogêneos, diferentes percentuais de resíduo e técnicas de pré-molhagem, além de considerar o uso de resíduos como agregado miúdo. Este estudo inicia uma pesquisa promissora, demonstrando a viabilidade do reaproveitamento de resíduos na construção civil, promovendo a economia circular e melhorando a qualidade dos produtos.

Referências

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. 2002. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303. Acesso em: 08 jul. 2024.

BRASIL. ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2024.

COUTO, José Antônio Santos; *et al*. O concreto como material de construção. **Cadernos de Graduação**: Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 1, n. 17, p. 49-58, 30 jul. 2013.

HELENE, Paulo R. L. e TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini. Acesso em: 12 jul. 2024. 1993.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. E-book. Disponível em https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 08 jul. 2024.

MEERT, Rúbia; HASTENPFLUG, Daniel; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Contribuição para o uso de lodo de estação de tratamento de água in natura como

agregado miúdo em concretos de cimento Portland: Avaliação da consistência, massa específica, porosidade, absorção, resistência à compressão e tração na compressão diametral. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, p. e13025, 2021.

CAMPOS, Cassio Fabian S.; MAZINI, Giovane Bozette; DA SILVA NETO, Guilherme Augusto. **Analise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha**. In: Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332. 2012. p. 01-11.

PADOVAN, Rafaela Gava. Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: Procedimento para modelagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃOBRASILEIRADENORMASTÉCNICAS. **NBR16889**:

Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: Concreto fresco: Determinação da massa especificado rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

Mapeamento Patentário de Tecnologias Aplicáveis ao Tratamento de Resíduos Sólidos

Déborah Bozz[1], Karoline Walcanaia[2], Elias Lira dos Santos Junior[3]
[1]*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (deborahbozz@alunos.utfpr.edu.br)*
[2] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (kahh_kw@hotmail.com)*
[3] *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (eliasjunior@utfpr.edu.br)*

Resumo: A gestão e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos são essenciais para garantir sua destinação final correta, contribuindo para a economia circular, a sustentabilidade e a saúde pública. Este estudo apresenta uma prospecção tecnológica das principais patentes aplicáveis ao tratamento de resíduos sólidos, com base em documentos disponibilizados pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Foram selecionadas as cinco patentes mais recentes para cada tecnologia, abrangendo documentos disponíveis até 20 de janeiro de 2022. Os resultados foram organizados de forma descritiva devido à limitação de espaço do template, garantindo uma apresentação clara das informações. Para cada patente, foram identificados o ano de depósito, o título, as vantagens e desvantagens. Os achados revelam desafios e oportunidades em cada tecnologia, métodos como compostagem e vermicompostagem apresentam limitações operacionais, enquanto tecnologias avançadas, como gaseificação e plasma, demandam investimentos elevados, enquanto a digestão anaeróbia e a pirólise mostram potencial na conversão de resíduos em energia, embora possuam desafios técnicos. O estudo reforça a importância da inovação no setor, permitindo aprimoramento das tecnologias existentes e o desenvolvimento de novas soluções para a gestão sustentável dos resíduos sólidos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Tecnologias. Patentes.

Patent Mapping of Technologies Applicable to Solid Waste Treatment

Abstract: The proper management and handling of solid waste are essential to ensuring its correct final disposal, contributing to the circular economy, sustainability, and public health. This study presents a technological prospecting of the main patents applicable to solid waste treatment, based on documents made available by the National Institute of Industrial Property (INPI). The five most recent patents for each technology were selected, covering documents available until January 20, 2022. The results were organized in a descriptive format due to template space limitations, ensuring a clear presentation of information. For each patent, the year of filing, title, advantages, and disadvantages were identified. The findings reveal challenges and opportunities in each technology. Methods such as composting and vermicomposting present operational

limitations, while advanced technologies like gasification and plasma require high investments. Meanwhile, anaerobic digestion and pyrolysis show potential in converting waste into energy, although they have technical challenges. The study reinforces the importance of innovation in this sector, enabling the improvement of existing technologies and the development of new solutions for the sustainable management of solid waste.

Key words: Solid waste. Tchnologies. Patents.

Introdução

Nas últimas três décadas, o resíduo produzido foi três vezes maior que o crescimento populacional, sendo que o Brasil foi responsável pela geração de 82,5 milhões de toneladas de resíduos apenas em 2020. Desse valor foram coletados 74,45 milhões e sem destinação alguma ficaram e 8,05 milhões de toneladas, destes sem destinação (ABRELPE, 2021). A previsão tecnológica fornece uma visão oportuna para as perspectivas de mudança tecnológica, por meio de análise do passado e do presente e, em seguida, planejar o futuro, utilizando informações sobre inovações tecnológicas (JARVENPAA *et al.*, 2011).

Alencar (2020) classifica o tipo de técnica em qualitativa e quantitativa, sendo que qualitativa oferece significados a eventos e percepções baseado em subjetividade ou criatividade e, a quantitativa mede a variável e aplica análises estatísticas, usando ou gerando dados confiáveis. Uma ferramenta importante para a prospecção tecnológica é o banco de dados patentários, sendo que essa ferramenta possibilita que o pesquisador entenda mais sobre sua tecnologia de estudo e reconheça os pontos fortes e fracos do seu invento criando algo inédito e principalmente, auxilia o entendimento da evolução tecnológica em determinada área ao longo do tempo, as perspectivas de mercado viabilizando que as empresas aperfeiçoem sua produção e tecnologias com base nas tendências vigentes (GHESTI *et al*., 2017).

Promover a gestão e/ou gerenciamento desses resíduos garante um tratamento e destinação final corretos, como consequência, a transformação desses resíduos em energia gera um importante papel na economia circular, estimula padrões sustentáveis de consumo e produção, diminui doenças e contribui com o meio ambiente. Sabe-se que a inserção de um sistema de gestão e/ou gerenciamento em cidades necessita-se principalmente de uma população instruída e disposta a colaborar para a sustentabilidade das cidades.

Este estudo vem com o intuito de apresentar as principais patentes tecnologias aplicáveis aos resíduos sólidos, através de uma prospeção tecnológica realizada na base nacional do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

Metodologia

A pesquisa foi realizada utilizando como referência os documentos de patentes disponibilizados na base nacional do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). O levantamento foi conduzido com base em tecnologias previamente definidas, incluindo "aterro sanitário", "compostagem", "vermicompostagem", "digestão anaeróbia", "gaseificação", "incineração", "pirólise" e "plasma".

Para a busca, os termos foram aplicados no campo de pesquisa por título, garantindo que os resultados obtidos fossem diretamente relacionados à temática investigada. Como critério de seleção, foram consideradas as cinco patentes mais recentes para cada tecnologia, garantindo que os dados refletissem os avanços mais atuais no setor.

Os documentos analisados foram aqueles disponíveis até o dia 20 de janeiro de 2022. Dessa forma, o período de tempo delimitado para a pesquisa corresponde desde a data de início da disposição dos documentos na base consultada até a data supracitada. Os resultados foram organizados em formato descritivo devido à limitação de espaço no template disponível, garantindo que todas as informações fossem apresentadas de forma clara e completa.

Para cada tecnologia, foram identificados o ano de depósito no INPI, o título da patente, bem como as principais vantagens e desvantagens associadas. Esses dados foram sistematizados para proporcionar uma visão abrangente do cenário tecnológico relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos, possibilitando uma análise detalhada das inovações e desafios em cada método.

Resultados e Discussões

Busca em base de patentes – INPI

Na área de aterro sanitário, diversas inovações tecnológicas foram desenvolvidas para aprimorar o tratamento de resíduos e minimizar impactos ambientais. Entre elas, destaca-se a patente BR 10 2019 010793 6, depositada em 27/05/2019, intitulada "processo de tratamento de

lixiviado de aterro sanitário com coagulante constituído por polímero de musa sp. e ozonização". Outra inovação relevante é a patente BR 10 2017 006908 7, depositada em 04/04/2017, denominada "processo de extração e purificação de substâncias húmicas de lixiviado de aterro sanitário". Além disso, foi registrada a patente BR 10 2017 006907 9, também em 04/04/2017, referente ao "processo de tratamento de lixiviado de aterro sanitário por oxiamonólise". Outra solução inovadora é a patente BR 10 2012 006907 5, depositada em 03/12/2012, intitulada "processo para reciclagem do chorume de aterro sanitário". Por fim, há a patente PI 0904410-8, registrada em 15/06/2009, que apresenta o "processo de tratamento de percolado/chorume de aterro sanitário por pirólise e destilação fracionada, utilizando indução térmica e aquecimento por biogás do próprio aterro, extraindo lodo que retorna ao aterro, água de reuso, amônia anidra dissolvida e gás amônio".

Na área de compostagem, diversas tecnologias foram patenteadas para otimizar o processamento de resíduos orgânicos. A patente BR 10 2020 010456 0, depositada em 26/05/2020, apresenta a inovação "disposição introduzida em um implemento agrícola para a formação e aeração de uma leira em um sistema de compostagem". Outra solução relevante é a patente BR 10 2020 003417 0, de 18/02/2020, intitulada "revolvedor de cama de compostagem". Também foi registrada a patente BR 10 2018 004562 8, em 07/03/2018, referente ao "processo de compostagem de materiais orgânicos". Além disso, há a patente BR 20 2017 015395 4, depositada em 18/07/2017, denominada "biorreator controlado por arduino para a compostagem de resíduos sólidos orgânicos". Outra inovação importante é a patente BR 10 2017 010980 1, de 24/05/2017, intitulada "processo de compostagem ultrarrápido e respectivo produto final obtido".

Na área de vermicompostagem, destaca-se a patente PI 9703658-7, depositada em 16/06/1997, intitulada "vermicultura e vermicompostagem no tratamento biológico orgânico do lixo urbano nas usinas de reciclagem de resíduos sólidos".

No campo da digestão anaeróbia, diversas patentes foram desenvolvidas para aprimorar a produção de biogás e biofertilizantes. A patente BR 13 2014 025044 0, depositada em 07/10/2014, apresenta o "processo para produção de bioenergia e biofertilizante através de digestão anaeróbia e de cultivo de algas utilizando subprodutos agroindustriais". Outra inovação relevante é a patente BR 11 2014 023150 8,

de 11/03/2013, intitulada “um sistema de digestão anaeróbia melhorado para resíduos orgânicos domésticos”. Além disso, há a patente PI 1102151-9, registrada em 11/05/2011, referente ao “processo e sistema de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de biomassa vegetal em fase sólida”. Também foi desenvolvida a patente PI 8403178-6, depositada em 28/06/1984, denominada “processo e instalação de digestão anaeróbia”. Por fim, há a patente PI 8204452-0, registrada em 29/07/1982, intitulada “reator para digestão anaeróbia”.

Na área de gaseificação, diversas patentes foram desenvolvidas para aprimorar os processos de conversão de resíduos em energia. A patente BR 10 2020 012046 8, depositada em 15/06/2020, apresenta a inovação “Componentes e sistema de produção de carvão vegetal e alcatrão a partir da gaseificação de resíduos florestais e pirólise lenta de madeira”. Outra solução relevante é a patente BR 11 2021 020245 5, de 09/04/2020, intitulada “Produção de gás de síntese a partir da gaseificação e reforma de material carbonáceo”. Também foi registrada a patente BR 11 2021 010387 2, em 27/11/2019, referente ao “Reator e método para a gaseificação e/ou fusão de materiais de alimentação e uso de um reator para gaseificação e/ou fusão de materiais de alimentação”. Além disso, há a patente BR 10 2019 024932 3, depositada em 26/11/2019, denominada “Processo de gaseificação catalítica, catalisador, uso do catalisador e processo para a preparação do catalisador”.

Outra inovação importante é a patente BR 10 2017 004407 6, de 06/03/2017, intitulada “Dispositivo de gaseificação por reação de vapor-carbono que utiliza o calor dos gases de exaustão como ignição na combustão de carvão para iniciação da energia de ativação, gerando combustível suplementar a bordo de veículos”.

Na área de incineração, diversas tecnologias foram patenteadas para otimizar a destruição térmica de resíduos. A patente BR 13 2020 004726 3, depositada em 09/03/2020, apresenta a inovação “Resina para aplicação em papel cartão e caixa resinada com calço para acondicionamento e incineração de carvão vegetal, briquetes e lenha”. Outra solução relevante é a patente BR 10 2018 068742 5, de 14/09/2018, intitulada “Instalação e processo de incineração de lixo e resíduos para moldagem de componentes de construção civil”. Também foi registrada a patente BR 11 2018 069039 2, em 21/03/2017, referente ao “Sistema de incineração”. Além disso, há a patente BR 11 2016 013911 9, depositada em 19/12/2014, denominada “Método para recuperação de cinzas

proveniente da incineração de resíduos". Outra inovação importante é a patente BR 10 2014 010534 4, de 30/04/2014, intitulada "Sistema de uso de energia por biomassa, combustão espontânea e incineração de resíduos".

Na área de pirólise, diversas patentes foram desenvolvidas para aprimorar a conversão térmica de resíduos em produtos de valor agregado. A patente BR 10 2019 022618 8, depositada em 29/10/2019, apresenta a inovação "Singaseificador em leito fixo descendente, vedado inferiormente, mas com acesso superior, contendo tubo injetor central, escamoteável, de matérias-primas secas e de comburentes até a câmara exclusiva e inferior de pré-pirólise semifluida e incandescente ainda no tubo desta cesta de pirólise flamejante, vibrável e abaixo do tubo, tubo para produção rápida e turbilhonada de singás rico em H2 para diversos usos". Outra solução relevante é a patente BR 10 2019 022135 6, de 22/10/2019, intitulada "Processo de refinamento de um bio-óleo de pirólise». Também foi registrada a patente BR 11 2021 008076 7, em 27/09/2019, referente ao «Material compósito poroso, método para preparar o material compósito poroso, uso do material compósito poroso e método para pirólise ou reciclagem de uma substância compreendendo um composto orgânico». Além disso, há a patente BR 11 2021 005245 3, depositada em 19/09/2019, denominada «Planta de pirólise». Outra inovação importante é a patente BR 11 2021 005377 8, de 16/09/2019, intitulada «Processo para a fabricação de silicatos de metal cristalinos porosos pulverulentos que emprega pirólise de aspersão por chama».

Na área de plasma, diversas patentes foram desenvolvidas para melhorar os processos térmicos industriais. A patente BR 20 2020 020991 0, depositada em 13/10/2020, apresenta a inovação "Eletrodo para uma tocha de arco de plasma". Outra solução relevante é a patente BR 11 2021 001348 2, de 24/07/2019, intitulada "Parte de conexão para um cabeçote de processamento térmico, em particular para um cabeçote de tocha de plasma, cabeçote de laser, cabeçote de laser de plasma e uma parte de desgaste e uma montagem de parte de desgaste e um método para o ajuste destes em conjunto". Também foi registrada a patente BR 20 2017 026381 4, em 07/12/2017, referente à "Disposição construtiva aplicada a consumível para tocha de plasma". Além disso, há a patente BR 10 2017 004813 6, depositada em 10/03/2017, denominada "Eletrodo refrigerado para tocha de plasma". Outra inovação

importante é a patente BR 11 2018 002347 7, de 04/08/2016, intitulada "Cartucho para tocha de arco de plasma arrefecido por líquido".

Portifólio Tecnológico

O aterro sanitário é considerado uma forma de destinação final dos resíduos sólidos, por tanto, entende-se que os mesmos já podem ter passado por algum outro método de tratamento. Todas as patentes referentes a aterro sanitários estão relacionadas ao tratamento do lixiviado, o que não foi objeto de investigação deste trabalho, desta forma, essa tecnologia, bem como, aterro sanitário não terão a seção de caracterização das tecnologias, bem como, não comporão o portfólio tecnológico.

O modelo de utilidade (BR 10 2020 010456 0) refere-se a uma disposição introduzida em implemento agrícola para a formação e areação de uma leira em um sistema de compostagem. Sua principal vantagem é o torque sem limite aplicado aos rotores, além de fácil manutenção, construção simplificada e custos competitivos. Entretanto, os rotores possuem conjuntos de ferramentas ativas presas ao corpo do próprio rotor.

O modelo de utilidade (BR 10 2020 003417 0) refere-se a um equipamento utilizado para revolver cama de compostagem de locais que abrigam animais, mais específico sendo utilizado em criações de pecuária leiteira e de corte. Proporciona uniformidade na profundidade do revolvimento, correta oxigenação e prolongamento da vida útil da cama. Contudo, não há disponibilidade no mercado de máquinas com dois rolos.

O modelo de utilidade (BR 10 2018 004562 8) refere-se a um processo que permitirá compostar qualquer material orgânico em até 15 dias para obter produto inerte, inodoro, na temperatura ambiente, com baixa umidade, PH equilibrado e com concentrações de nutrientes próprios à agricultura. Principal vantagem é que reduz o tempo de compostagem e gera um condicionador de solo, no entanto, requer grande quantidade de insumos para a produção do catalisador.

O modelo de utilidade (BR 20 2017 015395 4) refere-se a um biorreator automático que utiliza do hardware e software do Arduino Mega 2560 para gerenciamento de sensores e do acionamento de atuadores. Destacando-se pelo baixo custo e pela versatilidade do equipamento. Sua desvantagem é a necessidade de mão de obra qualificada para pro-

gramação do software e hardware, além do pré-processamento inicial dos resíduos.

O modelo de utilidade (BR 10 2017 010980 1) refere-se a um processo de compostagem ultrarrápido e seu respectivo produto final obtido. Utiliza-se métodos automáticos com mistura controlada para transformação da matéria orgânica, mas, o produto final pode ter características qualitativas e quantitativas alteradas.

O modelo (PI 9703658-7) refere-se ao tratamento biológico tendo como matéria prima resíduos orgânicos provenientes do lixo urbano, através da compostagem destes resíduos nos pátios de usinas de reciclagem com um período de trinta dias com a minhoca Vermelha da Califórnia. Os benefícios incluem a redução do tempo de maturação do composto e a diminuição do esforço físico, resultando em um biofertilizante de alta qualidade, entretanto, exige controle rigoroso da quantidade de minhocas para manter a umidade na faixa ideal.

O modelo de utilidade (BR 13 2014 025044 0) refere-se ao aproveitamento da vinhaça, o qual é um subproduto da destilação do etanol, para a produção de bioenergia, biofertilizante e com a digestão anaeróbia acoplada à produção de microalgas para fins distintos. As vantagens incluem a operação com reatores de produção de algas e reatores anaeróbios, a produção de fertilizante mais concentrado que a vinhaça, além do reaproveitamento e recuperação de nutrientes por recirculação, porém, o biogás produzido só pode ser aproveitado durante a safra de cana-de-açúcar, e o custo de implantação pode ser elevado.

O modelo de utilidade (BR 11 2014 023150 8) refere-se a um sistema digestor anaeróbio horizontal compacto para converter materiais de biomassa de resíduos domésticos com alto teor de sólidos e menos umidade em biogás rico em metano e lodo de composto concentrado. A tecnologia permite a eliminação segura dos resíduos biodegradáveis, a conversão de materiais em compostagem estável e a recuperação de nutrientes sem custos adicionais, mas um dos desafios desse sistema é o alto tempo necessário para a digestão.

O modelo de utilidade (PI 110215-9) refere-se a um processo de produção de biogás a partir de materiais lignocelulósicos, operados em reatores de processo semicontínuo ou contínuo, num primeiro reator para o tratamento de biomassa vegetal através de explosão a vapor; e um segundo reator para a hidrólise e a digestão anaeróbia do material

tratado na etapa de tratamento de biomassa pela explosão a vapor por bactérias anaeróbias. Essa tecnologia apresenta alta eficiência energética e aumento da produtividade devido ao uso de bactérias anaeróbias, porém, a eficiência do processo depende da composição da biomassa, do tipo de pré-tratamento empregado e das condições operacionais, como temperatura e pH.

O modelo de utilidade (PI 8403178-6) refere-se ao processo de digestão anaeróbia num curto espaço de tempo, sob um processo em que a matéria orgânica não líquida através da utilização de inoculantes, é eliminado o efeito nocivo da acidulação inicial da matéria orgânica, até a formação de adubo estabilizado. O método também elimina o efeito nocivo da acidulação da matéria orgânica não líquida, entretanto, requer uma grande quantidade de lama de inoculação para sua aplicação. O modelo de utilidade (PI 8204452-0) refere-se a um reator para decomposição biológica de material orgânico na ausência de oxigênio. O equipamento é constituído por uma câmara de digestão e um gasômetro, fornecendo uma alternativa energética satisfatória a um menor custo, no entanto, a produção de biogás ocorre de maneira descontínua, o que pode limitar sua viabilidade operacional.

O modelo de utilidade (BR 10 2020 012046 8) refere-se aos processos de pirólise lenta, aos componentes e um sistema de produção de carvão vegetal e alcatrão, utilizando gaseificação de resíduos florestais para fornecer o calor necessário para o processo. A tecnologia utiliza componentes simples, de baixo custo de implantação e manutenção, sendo altamente acessível e eficiente, além disso, permite a conversão de 100% da matéria-prima em carvão vegetal de maior valor agregado, no entanto, ainda não há sistemas similares disponíveis no mercado.

O modelo de utilidade (BR 11 2021 020245 5) refere-se ao método de converter material carbonáceo em gás de síntese a uma certa taxa de conversão de carbono compreendendo gaseificar o material carbonáceo em um reator de leito fluidizado produzindo um gás de síntese cru. O processo utiliza menos carvão e gera menos alcatrão residual, além de fundir o material mineral da matéria-prima em um material tipo vidro, entretanto, apresenta limitações na preparação do material sólido para alimentação e baixo tempo de residência no reator.

O modelo de utilidade (BR 11 2021 010387 2) refere-se a um reator e um método de gaseificação e/ou fusão de substâncias, focado na recuperação de materiais e/ou energia de quaisquer resíduos. Ele

minimiza a entrada de poeira no gasificador e permite maior eficiência na alimentação do reator, porém, o equipamento tem um alto custo de instalação e manutenção.

O modelo de utilidade (BR 10 2019 024932 3) refere-se a um catalisador a ser aplicado ao processo de gaseificação do coque ou carvão, individual ou em mistura e ao processo de preparação do catalisador que é útil na obtenção de maiores teores de hidrogênio e monóxido de carbono, permitindo a conversão do coque em gás de síntese rico em hidrogênio. Promove maior ganho energético e menor geração de resíduos, contudo, o catalisador utilizado precisa ser constantemente realimentado.

O modelo de utilidade (BR 10 2017 004407 6) refere-se ao aproveitamento do calor fornecido pelos gases do escapamento, para a reação heterogênea de reagentes como carbono e vapor de água, liberando como produto principal desta reação os gases combustíveis suplementares hidrogênio, monóxido de carbono e metano a bordo do veículo. Essa tecnologia evita a introdução de grandes volumes de gás não inflamável e aumenta o poder calorífico, no entanto, para maior eficiência, a tubulação de exaustão precisa ser revestida com isolantes térmicos específicos.

O modelo de utilidade intitulado (BR 13 2020 004726 3) refere-se a um certificado de adição da invenção BR 10 2018 009966 3, invenção a qual expõe uma formulação de resina retardante, cuja aplicação no papel cartão com o qual é fabricada a caixa na qual é acondicionado o carvão vegetal, briquete ou lenha para churrasco, propicia uma queima lenta no papel, o bastante para a incineração do material combustível contido ser transformado em brasa. Já a patente citada aqui, corresponde a uma melhoria realizada na máquina utilizada para tal processo. Esta melhoria compreende de um acendedor cuja configuração de contornos prismáticos triangulares, superiormente e inferiormente, favorecem a circulação do ar, mas ainda não está disponível no mercado.

O modelo de utilidade (BR 10 2018 068742 5) refere-se à instalação para incinerar principalmente lixo doméstico e hospitalar, cujo efluente é empregado na moldagem de componentes para construção civil, obras viárias e pavimentação, bem como o aproveitamento de do efluente do forno rotativo. Essa tecnologia opera em alta temperatura, permitindo a incineração de materiais contagiosos sem emissão de efluentes aéreos,

entretanto, demanda uma área significativa para alocação do produto final.

O modelo de utilidade (BR 11 2018 069039 2) refere-se a um sistema de incinerador e queimador para combustão de hidrocarbonetos, como gases e líquidos residuais que ocorrem em locais de perfuração de gás e petróleo, ou gases e líquidos de processo residual de várias aplicações químicas e petroquímicas. A tecnologia permite uma reação completa sem o uso de forças motoras, contudo, exige mão de obra altamente qualificada devido às inúmeras variações possíveis do sistema.

O modelo de utilidade (BR 11 2016 013911 9) refere-se a um método para o tratamento de cinzas a partir da incineração de resíduos que inclui as etapas de digestão de cinzas por um licor de lixiviação formado por íons de fosfato em solução de modo a gerar uma primeira fase sólida e uma primeira fase líquida. O tratamento utilizado para as cinzas é mais ecologicamente seguro, consumo menor de energia e menor geração de energia, mas, possui gastos consideráveis de materiais químicos reagentes.

O modelo de utilidade (BR 10 2014 010534 4) refere-se a um sistema de gestão de biomassa e eliminação de resíduos orgânicos, carcaças de animais, materiais específicos de risco e de alto risco, podendo também eliminar resíduos orgânicos urbanos, industriais, narcóticos apreendidos, detritos e obter a combustão espontânea. Equipamento é de tamanho reduzido e facilmente transportável, de baixo custo, alta eficiência energética, porém, alguns dos resíduos podem ser fonte de infecção passível de transmitir doenças para outros animais e pessoas.

O modelo de utilidade (BR 10 2019 022618 8) refere-se ao desenvolvimento, protótipo, registração e disponibilização para fabricação e vendas de um pequeno a médio singaseificador rápido em leito fixo e descendente. A tecnologia é moderna e eficaz, mas tem baixa produtividade, sendo adequada apenas para pequenas comunidades.

O modelo de utilidade (BR 10 2019 022135 6) refere-se ao processo de refinamento de bio-óleo de pirólise para a reutilização do mesmo, em particular como substituto do óleo combustível. Atua reduzindo os teores de água e oxigênio e melhorando a qualidade do produto final, no entanto, o bio-óleo ainda apresenta baixo poder calorífico e pode causar corrosão nas instalações metálicas. O modelo de utilidade (BR 11 2021 008076 7) refere-se à promoção de um material compósito poroso e

seu método de preparação e uso. Apresenta alta eficiência energética, pode tratar simultaneamente diferentes tipos de resíduos plásticos, mas, ainda é custosa e pode ocorrer a danificação das propriedades de alguns componentes do material.

O modelo de utilidade (BR 11 2021 005245 3) refere-se a uma planta de pirólise para processamento de material de pneus granulado para recuperar combustíveis e carvão/cinza/carbono. Ela opera de maneira contínua, aumentando a eficiência da permuta de calor, porém, a tecnologia exige altos gastos com geração de calor para alimentar os queimadores. O modelo de utilidade (BR 11 2021 005377 8) refere-se a um processo para a fabricação de um silicato de metal cristalino poroso pulverulento. Essa tecnologia evita etapas tradicionais de produção, mas requer componentes auxiliares para dissolução dos materiais.

A tecnologia de plasma por demandar de mão de obra extremamente qualificada e apresentar alto custo de investimento principalmente por necessitar de uma quantidade mínima de resíduos para viabilizar a central ou subsidiá-la, a nível Brasil não se mostra vantajosa, à vista disso, a prospecção tecnológica não foi realizada.

Conclusões

O estudo da prospecção tecnológica auxiliou a identificar o que vem sendo produzido quanto ao tratamento dos resíduos sólidos, enquanto o portfólio tecnológico abordou as vantagens e desvantagens das patentes analisadas, de maneira a permitir o desenvolvimento de novas patentes ou o aprimoramento do que há depositado.

Diantes das diversas tecnologias analisadas, observou-se que, embora algumas já estejam bem consolidadas, ainda enfrentam alguns desafios relacionados a mecanização do processo, qualificação de mão de obra e dependência de insumos. Por outro lado, técnicas mais complexas, esbarram nos altos custos de investimento e de operação, além da necessidade de recursos técnicos especializados. Essa realidade evidencia a importância de políticas públicas e incentivos que promovam o desenvolvimento tecnológico e principalmente a adaptação dessas soluções sustentáveis às diferentes realidades regionais e econômicas.

Das oportunidades para futuras pesquisas relacionadas ao tema abordado, indica-se o estudo da classificação internacional de patentes (IPC) referente as patentes apresentadas, bem como, uma avaliação

quantitativa das patentes prioritárias com especial atenção ao programa "patentes verdes" do INPI.

Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. ***Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.*** São Paulo, 2021. Disponível em: https://abespb.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Panorama-2021-ABRELPE.pdf

ALENCAR, M. S. de M. ***Estudo de futuro através da aplicação de técnicas de prospecção tecnológica: O caso da nanotecnologia.*** 2008. 193 f. Tese de Doutorado em Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

GHESTI, G. F.; *et al*. ***Tutorial de busca nos principais bancos de patentes.*** Brasília: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – CDT, UnB, 2016. ISBN 978-85-93309-00-7. Disponível em: http://www.profnit.unb.br/images/PDF/PUBLICACOES/Tutorial-de-Busca-nos-Principais-bancos-de-Patentes-ilovepdf-compressed.pdf

JÄRVENPÄÄ, H. M.; MÄKINEN, S. J.; SEPPÄNEN, M. Patent and publishing activity sequence over a technology's life cycle. ***Technological Forecasting & Social Change***, v.78, p. 289-293, 2011. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.020

Indicadores de Salud Ambiental Comunitaria en una población Periurbana

Dip Maderuelo, M. Rocío[1], Duca, Gladys,[2] Campani, Darci[3], Tubino, Rejane,[4] Bautista Blasco, Susana[5]
[1]Facultad de Medicina /Universidad Nacional de Tucumán (rociodip@fm.unt.edu.ar)
[2] Facultad de Medicina /Universidad Nacional de Tucumán (gladuc@fm.unt.edu.ar)
[3]Escola de Engenharia /Universidade Federal do Rio Grande do Sul (campani@ufrgs.br)
[4]Escola de Engenharia /Universidade Federal do Rio Grande do Sul (rejane.tubino@gmail.com) [5]Escuela Politécnica Superior /Universidad Francisco de Vitoria (susana.bautista@ufv.es)

Resumen: La salud ambiental comunitaria (SAC) aborda los factores físicos, químicos y biológicos que influyen en la salud de una población. La educación ambiental es una herramienta valiosa para la acción social participativa y la construcción de nuevos paradigmas basados en el cuidado y el respeto ambiental. Se evaluaron indicadores de SAC en una población periurbana de Tucumán, expuesta a diferentes factores ambientales y se caracterizaron las patologías prevalentes en ella. Se realizó un análisis descriptivo (n=21), estudiando variables sociodemográficas, patologías prevalentes y exposición a factores ambientales. Se realizó un relevamiento sociosanitario, mediante observación participante y encuestas anónimas. Se observó que el 76,19% fueron mujeres, en su mayoría menores de 50 años (43%). El 80,95% de los hogares tienen mascotas, aunque solo el 47,37% con atención veterinaria. El 71,43% de los hogares indicó presencia de vectores. Entre las patologías prevalentes se detectó Diabetes, problemas oculares, respiratorios y discapacidad. Se detectaron microbasurales en diversos puntos del área bajo estudio, especialmente en terrenos baldíos; y aunque se cuenta con recolección de residuos diaria, aún se quema basura en el barrio y los vecinos no clasifican ni reciclan sus residuos. Los resultados indican que es preciso trabajar de manera coordinada y colaborativa con los diferentes actores sociales, para abordar los factores modificables detectados que condicionan la calidad de vida de la población; para ello las acciones deben centrarse en el empoderamiento de las personas y en la construcción de ciudadanía; utilizando a la Educación Ambiental como aliada estratégica.

Palabras clave: Salud Ambiental Comunitaria, Educación Ambiental, Participación Ciudadana.

Community Environmental Health Indicators in a Peri-urban population

Abstract: Community environmental health (CEH) addresses the physical, chemical and biological factors that influence a population's health. Environmental education is a valuable tool for participatory social action and

the construction of new paradigms based on environmental care and respect. CEH indicators were evaluated in a peri-urban population of Tucumán, exposed to various environmental factors, and the prevalent pathologies in it were characterized. A descriptive analysis was carried out (n=21), studying sociodemographic variables, prevalent pathologies and exposure to environmental factors. A socio-health survey was carried out through participant observation and anonymous surveys. Results showed that 76.19% of participants were women, mostly under 50 years of age (43%). Additionally, 80.95% of households have pets, although only 47.37% received veterinary care. A total of 71.43% of households reported the presence of vectors. Diabetes, eye problems, respiratory problems and disability were detected among the prevalent pathologies. Micro-dumps were detected in various areas under study, especially in vacant lots. Although daily waste collection is available, garbage is still burned in the neighborhood, and residents do not classify or recycle their waste. The findings highlight the need for coordinated and collaborative work among different social actors to address the modifiable factors affecting the population's quality of life. To achieve this, actions should focus on the empowering individuals and fostering active citizenship, using Environmental Education as a strategic ally.

Keywords: Community Environmental Health. Environmental Education, Citizen Participation.

Introducción

La protección del ambiente y la salud son Derechos Humanos irrevocables. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), estableció que "*Los estados deben garantizar un ambiente sin riesgos, limpio, saludable y sostenible con el fin de respetar, proteger y hacer efectivos los derechos humanos"*, ya que la salud humana depende de una gran variedad de factores, entre los cuales el ambiente es uno de los más importantes (TORRES GUARNIZO y col. 2022)

De acuerdo con algunas estimaciones de la Organización Panamericana de Salud (OPS), los factores ambientales son responsables de entre el 25 y 33% de las enfermedades más prevalentes a nivel mundial, afectando primordialmente a la población menor de cinco años; el 13% de muertes en las Américas son atribuibles a los riesgos ambientales; es decir: 847.000 muertes al año, evitables, y son atribuibles a la contaminación del aire y a las exposiciones químicas.

La salud comunitaria asociada a factores ambientales resulta ser una problemática considerada emergente y se ve agravada principalmente por los aspectos aún no explorados en profundidad en investigaciones científicas. La importancia vital de esta situación tomó notoria relevancia y en las últimas décadas, los indicadores de salud socio ambiental

se fueron instalando con firmeza en las agendas sanitarias y políticas a nivel internacional (ROMERO PLACERES y col. 2007).

Según VARGAS MARCOS (2005), la medición de la exposición a numerosos factores ambientales es compleja porque no se dispone de sistemas adecuados de información y vigilancia sanitaria que permitan valorar la magnitud y gravedad de los riesgos; la información disponible sobre las enfermedades relacionadas con el ambiente procede de la experimentación en animales y de estudios de laboratorio, epidemiológicos y toxicológicos, de modo que sus resultados sólo permiten extrapolar y estimar posibles riesgos para la salud pública.

Las exposiciones crónicas a bajas dosis de sustancias contaminantes, principalmente químicas, son particularmente difíciles de estudiar. Su correcta estimación representa un desafío de gran interés epidemiológico. El principal reto consiste en detectar los diferentes niveles de exposición y asociarlos con los efectos sobre la salud, a fin de identificar las poblaciones de riesgo y ofrecer elementos para la prevención y asistencia. La determinación de biomarcadores cobra gran importancia en estudios observacionales y permite sustentar con mayor confianza la estimación de la exposición. (BUTINOF y COL., 2017).

En los últimos años, se ha incrementado la preocupación por las consecuencias y riesgos hacia la salud humana generados por la exposición a plaguicidas y otros factores ambientales tales como contaminación de las aguas, basurales a cielo abierto, contaminación del aire producto de las industrias y automóviles, entre otros (BUTINOF y COL., 2017).

Para los autores ÁVALOS (2018) y BARRAGÁN (2010), la causalidad de las enfermedades relacionadas con los residuos es compleja e intervienen múltiples factores, el bajo nivel de ingresos y de educación, el escaso acceso a los servicios básicos de salud, viviendas dignas y saneamiento ambiental, sumando a estos el desconocimiento sobre los riesgos que enfrentan los individuos que trabajan, viven en contacto y hasta se alimentan de la basura, tienen un papel fundamental en la morbimortalidad de la población.

La acumulación de residuos genera descomposición de la materia orgánica, lo cual se convierte en una fuente de proliferación para diferentes microorganismos, provee alimento para vectores transmisores de patologías y libera sustancias o gases tóxicos capaces de causar

enfermedades de diversas etiologías. Los grupos etarios más vulnerables corresponden a los niños, las embarazadas y los adultos mayores (FILIGRANA y COL, 2011). Entre las patologías prevalentes que se pueden encontrar en estos colectivos sociales están, en primer lugar, las infecciosas y afecciones del aparato respiratorio, seguidas de enfermedades gastroinstestinales, dermatológicas, malformaciones congénitas, y hasta neoplasias malignas como ser cáncer de pulmón, éste se da en lugares en los que se quema la basura, principalmente plástico, y se libera a la atmosfera elementos clorados y otros tóxicos como las dioxinas, a su vez, este riesgo se encuentra aumentado unas 3-4 veces en pacientes tabaquistas. (LUTZ, y COL, 2016) (CORREA, y COL., 2015) y (ZAYAS MUJICA y COL, 2007).

En Argentina, se estima que el 61% de los chicos reside en un espacio barrial afectado por la contaminación ambiental; así mismo, de este porcentaje, los más afectados son los que viven en Tucumán, donde 3-4 niños viven cerca de algún contaminante del ambiente. (TUÑÓN y COL, 2019).

La presente investigación se realizó en la ciudad de Bella Vista, municipio cabecero del Departamento Leales, en la provincia de Tucumán, Argentina; ubicada a 26 km al sudeste de la ciudad capital de la provincia, (San Miguel de Tucumán).

Está constituida en una zona de llanura fértil apta para numerosos cultivos, aunque predomina el de caña de azúcar y es el medio de vida primordial para sus habitantes; sin embargo, además del cultivo de la caña de azúcar, se produce soja, poroto, maíz y girasol.

Actualmente Bella Vista tiene una población estimada de 40.000 habitantes cuya principal actividad económica está ligada al cultivo y a la industria azucarera y del limón.

Desde la gestión pública municipal, la recolección de los Residuos Sólidos Urbanos se encuentra bajo la responsabilidad de la Dirección de Saneamiento y Servicios del Municipio (Secretaría de Obras Públicas). Desde el año 2015, Bella Vista integra el Consorcio Público Metropolitano para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) de Tucumán, conjuntamente con otras Municipalidades (San Miguel de Tucumán, Banda del Río Salí, Las Talitas, Yerba Buena, Tafi Viejo, Alderetes, Bella Vista y Lules).

El mecanismo de GIRSU del Consorcio Público Metropolitano se resume de la siguiente manera: Planta de transferencia San Felipe y Planta de Disposición Final Overo Pozo mediante el sistema de bioceldas.

En el caso del Municipio de Bella Vista, anteriormente a integrar el Consorcio, los residuos sólidos urbanos eran depositados en viejos cursos de ríos, zonas bajas etc., que fueron tapadas posteriormente, sin remediación ambiental planificada y ejecutada.

En la actualidad, el servicio es prestado mediante la utilización de camiones tipo compactador, que realizan el recorrido de manera diaria, cubriendo a la totalidad de barrios de la ciudad. También, todo el casco urbano tiene agua corriente –potable-, alumbrado público e instalación eléctrica domiciliaria; pavimento en un 65%, el 80% cordón cuneta, 45% gas natural, el 65% teléfono domiciliario. La ciudad cuenta con una planta de tratamiento de líquidos cloacales con estación de bombeo, beneficiando a aproximadamente el 95% de la población.

La gestión municipal cuenta con un Programa Municipal de Educación Ambiental cimentados en dos leyes Nacionales: Ley Yolanda (Ley N° 27.592) y Ley de Educación Ambiental Integral (Ley N° 27.621) y un programa de Gestión Adecuada de Residuos "PIMAR", implementado en el año 2022 y mediante los cuales se fomenta la clasificación en origen de los residuos, la recuperación y el reciclado de los materiales; promoviendo a través de diferentes acciones, la economía circular.

Objetivos de Investigación

- Evaluar Indicadores de Salud Ambiental Comunitaria y otros factores ambientales en una po-blación periurbana de la provincia de Tucumán-Argentina.
- Caracterizar las patologías prevalentes en la población bajo estudio.

Metodología

Este trabajo de investigación se enmarca en el Proyecto PIUNT I704 y contempla en su diseño a la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS en los que se incluye, abordan los temas de agua, saneamiento e higiene, calidad del aire, seguridad

química, y acción por el clima (ODS 3, ODS 6, ODS 11, ODS 12 y ODS 15).

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal durante el segundo semestre del año 2024, en una población periurbana del interior de la provincia de Tucumán; la cual fue escogida contemplando la facilidad para su acceso, la proximidad de ésta a cultivos, la cercanía a industrias y la presencia de otros factores ambientales de interés para esta investigación.

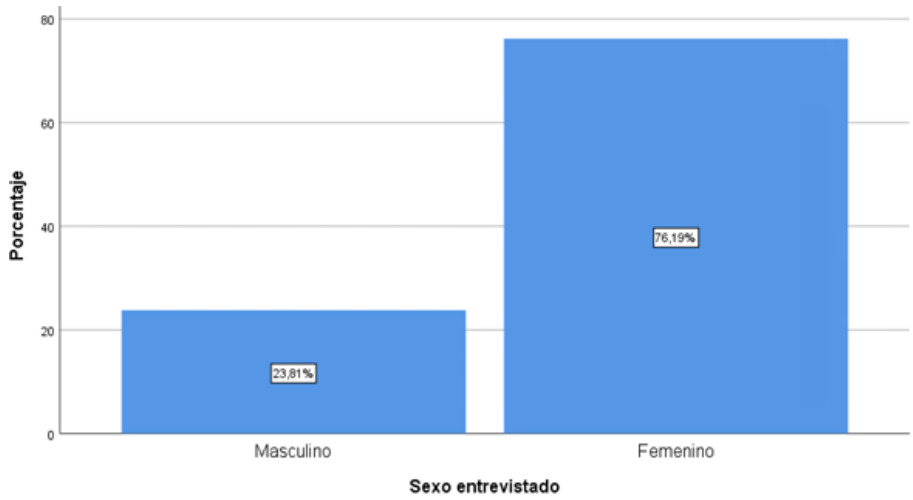
Se accedió a la población bajo estudio mediante un recorrido de la zona bajo estudio, con visita a los domicilios y en los espacios públicos. Se trabajó con cuadrilla de censistas, previamente capacitados, integrados principalmente por personal municipal y pasantes de investigación. Para la recolección de los datos, en una primera instancia se hizo un relevamiento de la zona mediante la técnica de Observación Participante, también se hizo un relevamiento de las políticas públicas ambientales vigentes en la comunidad y posteriormente, en una segunda instancia, se recolectaron datos cuantitativos empleando una encuesta semiestructurada, ad-hoc, de participación voluntaria y anónima. Se estudiaron las siguientes variables: Edad, Sexo, Nivel de escolaridad, Patologías Prevalentes, Exposición a factores ambientales – basurales a cielo abierto, industrias, características de la vivienda, agua potable, saneamiento básico (tratamiento de excretas, recolección domiciliaria de residuos).

Resultados y Discusión

Se encuestaron a 21 personas de un barrio periurbano de la ciudad de Bella Vista, Provincia de Tucumán; el cual fue seleccionado luego de un relevamiento zonal que permitió determinar su cercanía a cultivos, ingenio azucarero y otros factores ambientales de interés para esta investigación.

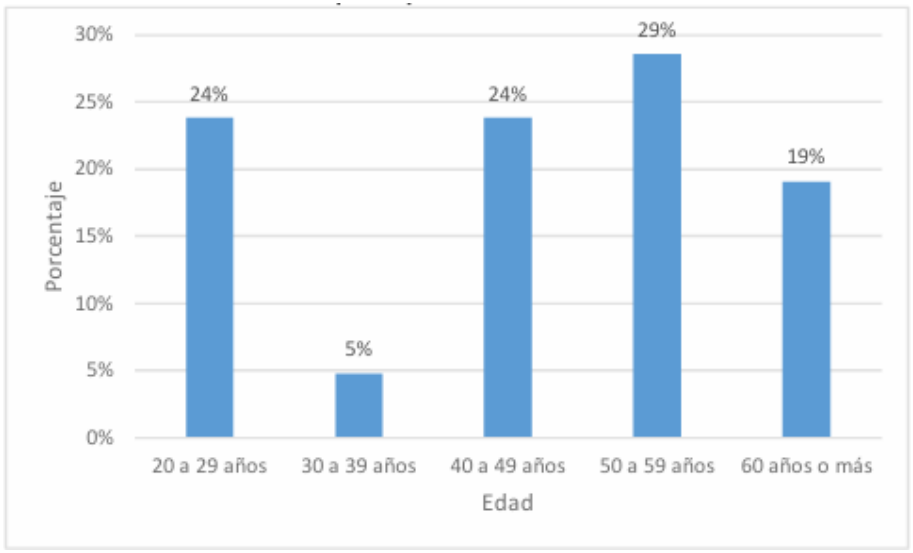
De los entrevistados, un alto porcentaje era sexo femenino (79,19%), como puede observarse en la Figura 1; posiblemente atribuido al horario de realización de las encuestas, el cual era por la mañana y, de acuerdo a la estructura socio-cultural del lugar, las mujeres desempeñan mayormente tareas domésticas y los hombres son quienes asumen el rol de trabajo remunerado fuera del hogar.

Figura 1 – Sexo de los entrevistados



En cuanto a la edad, se puede observar en la Figura 2 que, si bien el rango etario que más predominó fue el de 50 a 59 años, participaron de las encuestas una amplia variedad de la población caracterizado por edades; siendo menor el porcentaje los participantes de 30 a 39 años (5%), posiblemente asociado a cuestiones laborales debido al horario de la visita, ya que esta parte de la población etaria se encontraría trabajando.

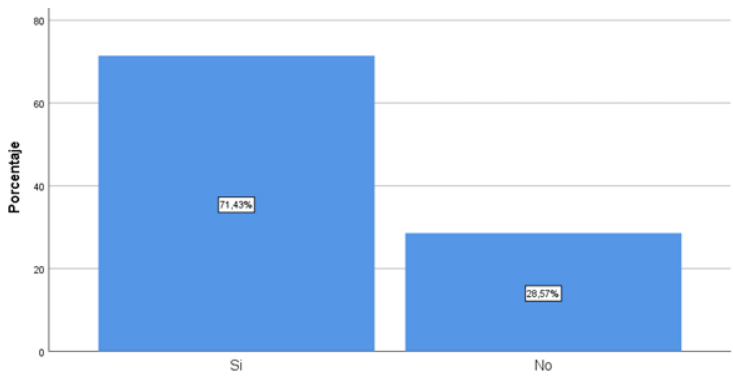
Figura 2 – Edad de los entrevistados



Al indagar sobre la presencia de animales con los que conviven en el hogar, se observó que el 80,95% de los hogares tienen mascotas, aunque solo el 47,37% con atención veterinaria. Estas variables estudiadas son indicadores de gran relevancia sanitaria pues muchas infecciones y enfermedades humanas son transmitidas a través del contacto con animales (zoonosis); por ejemplo, la rabia, hidatidosis, brucelosis, leptospirosis, etc. Un dato a destacar es que desde la Gestión Municipal se cuenta con un servicio de Bienestar Animal y Zoonosis para atención gratuita a mascotas y de concientización ciudadana; lo cual es un aliciente ante la problemática detectada pero también a modo de sugerencia, sería valioso indicar como meta a alcanzar en un corto plazo, el refuerzo de la participación ciudadana en acciones que generen conciencia sobre la importancia de la tenencia responsable de mascotas; basados en un sustento técnico de salud y seguridad pública.

Las enfermedades transmitidas por vectores comprenden una larga lista de patologías causadas por virus, bacterias o parásitos, transmitidas a los seres humanos por diversos organismos, incluidos los insectos. En esta investigación también se relevó la presencia de vectores dentro del hogar y linderos a éstos; observándose en el Figura 3 que el 71,43% de los entrevistaros indicaron la presencia de alguno/s vector/es. Esta información resulta de gran importancia pues estas enfermedades podrían representar una alta carga de morbilidad y mortalidad para las personas, sus familias y la comunidad, así como altos costos y sobrecargas de los sistemas de salud. Un elemento crucial para reducir la carga de las enfermedades transmitidas por vectores, mejorando además del acceso al agua y el saneamiento urbano e intradomiciliario, es el cambio de comportamiento, que puede lograrse mediante la educación ambiental.

Figura 3 – Presencia de Vectores en el hogar y alrededores



Durante el relevamiento zonal, se detectaron microbasurales en diversos puntos del área bajo estudio, especialmente en terrenos baldíos; y aunque la ciudad cuenta con recolección de residuos diaria, aún se quema basura en el barrio y los vecinos no clasifican ni reciclan sus residuos, demostrando que aún existe en la población un patrón cultural demasiado arraigado, que dificulta el éxito de los programas ambientales implementados desde la gestión municipal. Se observó que el 14,29% de los hogares relevados queman basura en el hogar y que, aunque el 100% de los entrevistados conocen el programa Municipal de Gestión Adecuada de Residuos (PIMAR), solo el 40,00% los clasifican y el 54,55% los reciclan.

Finalmente, al estudiar las patologías prevalentes en la población bajo estudio, se detectó que existe una prevalencia de enfermedades crónicas tal como Diabetes, problemas oculares, afecciones respiratorias y discapacidad. Estos datos pueden observarse en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4 – Presencia de Enfermedades Crónicas en la familia

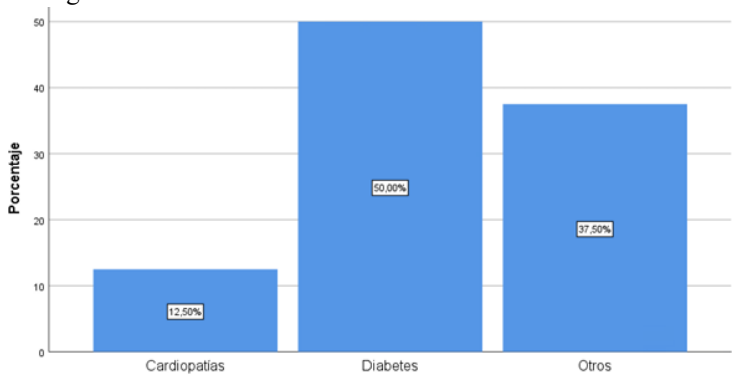


Figura 5 – Presencia de enfermedades oculares en la Familia

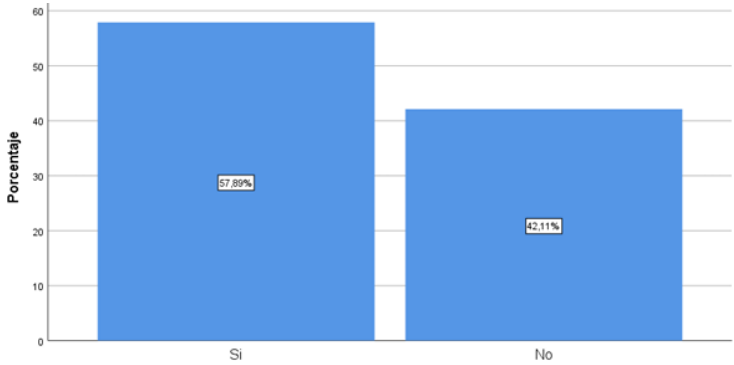
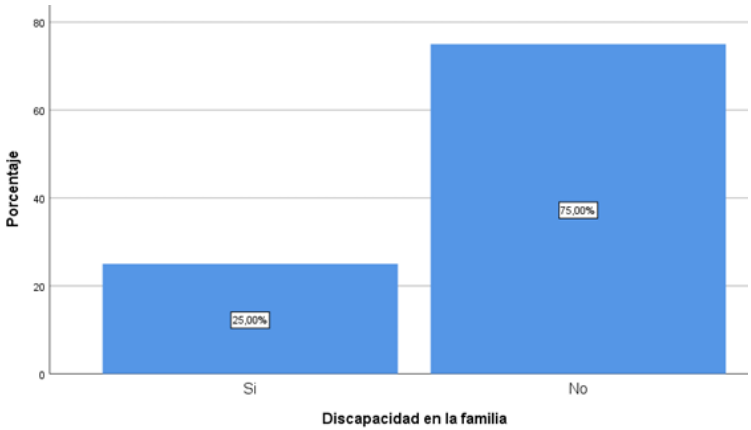


Figura 6 – Presencia de discapacidad en la familia



Consideraciones finales

Los resultados indican que es preciso trabajar de manera coordinada y colaborativa con los diferentes actores sociales, para abordar los factores modificables detectados que condicionan la calidad de vida de la población; para ello las acciones deben centrarse en el empoderamiento de las personas y en la construcción de ciudadanía. La educación ambiental es una herramienta valiosa para la acción social participativa y la construcción de nuevos paradigmas de desarrollo basados en el cuidado y el respeto ambiental, y la justicia social.

Referencias

ÁVALOS, M. A. Cuestión de salud pública: atención de enfermedades respiratorias entre familias residentes en un asentamiento (Misiones-Argentina). e-ISSN: 1697-2791. 2018. Disponible en: http://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/900/854

BARRAGÁN, H. L. Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: la crisis de la sustentabilidad. Ed de la Universidad Nacional de La Plata.2010,9:218-229.

BUTINOF M., FERNÁNDEZ R., MUÑOZ S., LERDA D., BLANCO M., JOSEFINA

LANTIERI M. *ET AL.* Valoración de la exposición a plaguicidas en cultivos extensivos de Argentina y su potencial impacto sobre la salud. Rev. argent. salud pública. 8 (33): 8-15; 2017. Disponibleen:http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853- 810X2017000400002&lng=es.

CORREA, R.; YEPEZ, J. C. Patologías respiratorias en comunidades cercanas a vertederos de basura.2015.6-22.

FILIGRANA, P. A.; GÓMEZ, O. L.; MÉNDEZ, F. Impacto de un sitio de disposición final de residuos sólidos en la salud respiratoria de los adultos mayores. ISSN: 0120-4157.2011. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/843/84322460005.pdf

LUTZ, M. I.; MÉNDEZ M. M.; MÓNACO A.; BEROIZ G. Encuesta sobre exposición de embarazadas y recién nacidos a contaminantes ambientales de riesgo en el Gran Buenos Aires. Rev Argent Salud Pública. 2016; 6(7): 27-32. Disponible en: http://www.rasp.msal.gov.ar/rasp/articulos/volumen27/27-32.pdf

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (PAHO).Determinantes ambientales de salud. Disponible en: https://www.paho.org/es/temas/determinantes- ambientales-salud.

ROMERO PLACERES M., ÁLVAREZ TOSTE M., ÁLVAREZ PÉREZ A. Los factores ambientales como determinantes del estado de salud de la población. Revista Cubana de HigieneyEpidemiología.45(2);2007.Disponibleen: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032007000200001

TORRES GUARNIZO, M. A., & VELANDIA PARDO, E. F. La interrelación de derechos humanos y medio ambiente desde el concepto de la seguridad humana. Revista Científica General José María Córdova, 20(37): 111-128. 2022. Disponible en: https://dx.doi.org/10.21830/19006586.803

TUÑÓN, I; LAMARMORA G.; MEDINA FERNÁNDEZ, S. Derecho a un hábitat dignoenlainfancia.ISSN1853-6204.2019.1-4:04-15.Disponibleen: https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/9285/1/derecho-habitat-digno-infancia.pdf
VARGAS MARCOS F. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. Rev. Esp. Salud Pública 79(2):117-127;2005.

ZAYAS MUJICA, R; CABRERAS CARDENAS U. Tóxicos ambientales y su impacto en la salud de los niños. Rev Cubana de Pediatria.2007 Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ped/v79n2/ped06207.pdf.

Análise temporal dos fatores climáticos na bacia do Rio Piauí com a utilização da base de dados BR-DWGD

Ronaldo Guilherme Santos Lima[1], Izaias Rodrigues de Souza Neto[2], Daianne Santos dos Anjos[3], Vania Elisabete Schneider[4], Ludmilson Abritta Mendes[5]
[1]Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil /Universidade Federal de Sergipe (ronaldomuri424@gmail.com)
[2]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe (izaiasnetoengcivil@gmail.com)
[3]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos /Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (daianne1696@gmail.com)
[4] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil /Instituto de Pesquisa Sobre Desastres /Universidade Federal de Sergipe (veschnei@ucs.br)
[5]Instituto de Pesquisa Sobre Desastres /Universidade Federal de Sergipe (lamendes@academico.ufs.br)

Resumo: As mudanças climáticas têm gerado eventos extremos como precipitações intensas e severas estiagens em diferentes regiões do planeta, indicando que o ciclo hidrológico pode ter colapsado. No Brasil, os câmbios climáticos que vêm ocorrendo também podem levar a alterações significativas nos seus diferentes biomas, comprometendo a biodiversidade, o saneamento básico e as atividades econômicas. Ações antrópicas podem estar igualmente afetando o bioma Caatinga, com a expansão agrícola e a demanda por recursos hídricos. Nesse cenário, a temperatura e a evapotranspiração (ET) são fatores importantes para melhor compreender as variações climáticas, uma vez que afetam o comportamento da precipitação (P). Esse estudo teve como objetivo avaliar a evolução histórica dessas três variáveis na bacia do Rio Piauí, localizada quase totalmente no estado de Sergipe (94%). A partir dos dados das variáveis disponíveis na base BR-DWGD para o período de 1961 a 2020, analisou-se sua evolução temporal por uma rotina no software Rstudio e com o auxílio do QGIS. O estudo revelou que as áreas com temperaturas acima de 29,50°C têm crescido, enquanto que áreas com temperaturas inferiores a 19,00°C estão diminuindo, isso pode estar interferindo no comportamento da ET, que se intensificou ao longo da série histórica, ao mesmo tempo que uma diminuição da precipitação na cabeceira da bacia também preocupa. Esses resultados podem estar relacionados às mudanças climáticas globais, necessitando, porém, estudos mais aprofundados e aplicáveis às demais bacias do semiárido nordestino.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Evapotranspiração, Aumento de temperatura.

"Temporal analysis of climatic factors in the Piaui River basin using the BR-DWGD database."

Abstract: Climate change has generated extreme events such as intense rainfall and severe droughts in different regions, indicating that the hydrological cycle may have collapsed. In Brazil, the climate changes that have been taking place could also lead to significant alterations in its different biomes, compromising biodiversity, basic sanitation, and economic activities. Anthropogenic actions may also affect the Caatinga biome, with agricultural expansion and the demand for water resources. In this scenario, temperature and evapotranspiration (ET) are important factors for better understanding climate variations since they affect precipitation behavior (P). This study aimed to evaluate the historical evolution of these three variables in the Piauí River basin, located almost entirely in the state of Sergipe (94%). Using data on the variables available in the BR-DWGD database for the period 1961 to 2020, their temporal evolution was analyzed using a routine in the Rstudio software and with the aid of QGIS. The study revealed that areas with temperatures above 29.50°C have been increasing, while areas below 19.00°C are decreasing. This may be interfering with the behavior of ET, which has intensified throughout the historical series. At the same time, a decrease in precipitation at the basin's headwaters is also a cause for concern. These results may be related to global climate change but require more in-depth studies applicable to other basins in the northeastern semi-arid region.

Keywords: Climate change, Evapotranspiration, Temperature increase.

Introdução

As mudanças climáticas, sejam de origem antropogênica ou natural, afetam de forma significativa os sistemas naturais e humanos em escala global e levantam grandes preocupações entre os círculos científicos, políticos e sociais (Marengo, 2008). A concentração de CO_2 na atmosfera atingiu 417,2 partes por milhão em 2022, representando um aumento de 51% em relação aos níveis pré-industriais sendo as emissões de combustíveis fósseis a principal fonte, com contribuições significativas de setores como energia, indústria e transporte (Friedlingstein *et al.*, 2022). Estudos dão conta de que a concentração de CO_2 na atmosfera já possa ser equiparada ao início do Eoceno, há cerca de 50 milhões de anos atrás (Foster; Royer; Lunt, 2017).

O comportamento das variáveis climatológicas pode sofrer alterações que desencadeiam o aumento das temperaturas globais (Richie; Roser, 2017), resultando em condições de seca, que, por sua vez, agrava o processo de desertificação em todo o globo (Jung *et al*., 2011), como também intensifica a ocorrência e severidade de eventos de chuvas

extremas (Alexander, 2016). Esses fenômenos podem ser percebidos no Brasil no crescimento da região semiárida do país, no recente surgimento de uma região árida no Nordeste Brasileiro (Brasil, 2023), nos eventos recentes de chuva extrema no Rio Grande do Sul, que resultaram em duas cheias históricas no intervalo de seis meses (Brasil, 2023) e no registro de que 2024 foi o ano mais quente desde 1961, apresentando uma temperatura 0,79°C maior que a média histórica registrada (INMET, 2025).

Nesse cenário, as observações meteorológicas permitem avaliar as condições climáticas em um momento e local específico desde que realizadas de maneira sistemática, uniforme e ininterrupta. Tais observações podem ser feitas utilizando instrumentos que medem e registram séries de dados meteorológicos, que captem a variação dos elementos atmosféricos, resultando em dados precisos que descrevem o comportamento do clima (Brasil, 2024). Estes dados são amplamente utilizados para estudos relacionados aos recursos hídricos, podendo ser aplicados na elaboração de cartas de previsão de tempo, investigação de leis que regem os fenômenos climáticos, em estudos hidrológicos, no projeto de estruturas hidráulicas, no gerenciamento dos recursos hídricos, na previsão de cheias, na avaliação da capacidade de atendimento das demandas hídricas de uma região e na estimativa do potencial de aproveitamento hidráulico para geração de energia elétrica (Brasil, 2024; Tucci, 2005). Outra aplicação é na avaliação da influência dos fatores climáticos na distribuição e extensão dos biomas (Lima, 2025).

As séries históricas de dados meteorológicos, entretanto, podem apresentar um número considerável de falhas, e uma baixa densidade de postos dada a extensão do território brasileiro (Paz *et al*., 2018). Nesse sentido, tratar os dados estatisticamente por meio da interpolação permite mitigar o problema da baixa qualidade dos dados (Abreu *et al.*, 2019). Xavier *et al.* (2022), utilizou esse artifício para desenvolver a base de dados Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) o qual apresenta um conjunto de dados de alta qualidade para o Brasil. Esta foi construída a partir de dados de pluviômetros e estações climatológicas operadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e possui resolução espacial de 0,1ºx0,1º, cobrindo o período de janeiro/1961 a dezembro/2020. Esse estudo teve como objetivo avaliar a evolução temporal das variáveis temperatura e evapotranspiração na

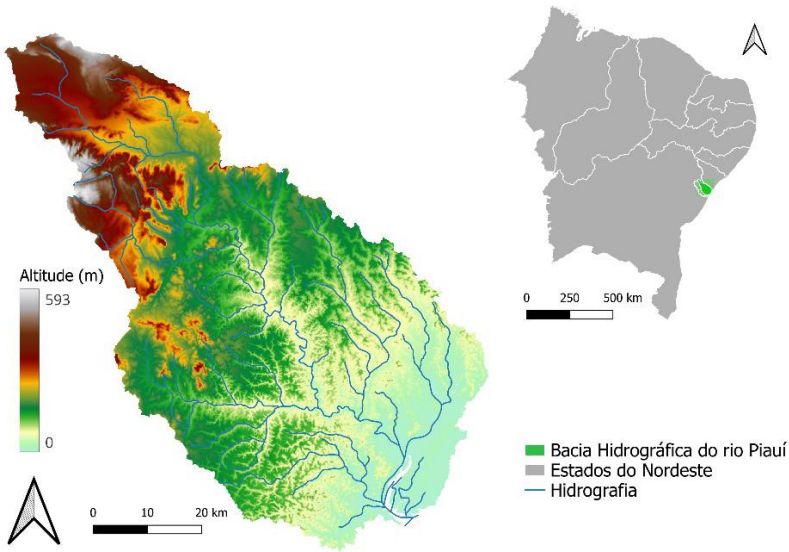
bacia do Rio Piauí, localizada quase totalmente no estado de Sergipe a partir dos dados disponíveis na base BR-DWGD para o período de 1961 a 2020, com a utilização do software Rstudio e auxílio do QGIS

Material e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Piauí (Figura 1) tem área de drenagem de 4.175 km², dos quais 3.953 km² (94,7%) situam-se no estado de Sergipe e o restante na Bahia. É classificada como sendo do tipo exorreica, pois o escoamento das suas águas perfaz uso contínuo até o oceano Atlântico no município de Estância/SE (Fontes; Lucas; Carvalho, 2017).

Figura 1 – Mapa de Localização



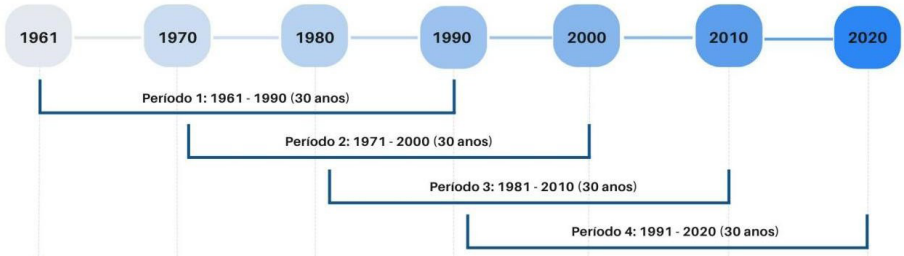
Fonte: Desenvolvido pelos autores

Análise dos dados

A base de dados BR-DWGD tem resolução espacial de 0,1° x 0,1º, sendo composta por uma grade de pixels, que contém informações sobre as variáveis propostas por Xavier *et al.* (2022). Para acessá-las, foi elaborada uma rotina em ambiente de programação R, que utiliza um shapefile das bacias estudadas, criado com o auxílio do sistema de informação geográfica QGIS. Dessa forma, foram adquiridas séries

diárias de Temperatura Máxima (Tmax), Temperatura Mínima (Tmin), Evapotranspiração Potencial (ET) e Precipitação (P), com cobertura temporal de 1961 a 2020. Ainda no R, foram calculadas as médias anuais de Tmax (°C) e Tmin (°C) e o total anual de ET (mm) e P (mm) para os quatro recortes temporais mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Períodos históricos utilizados



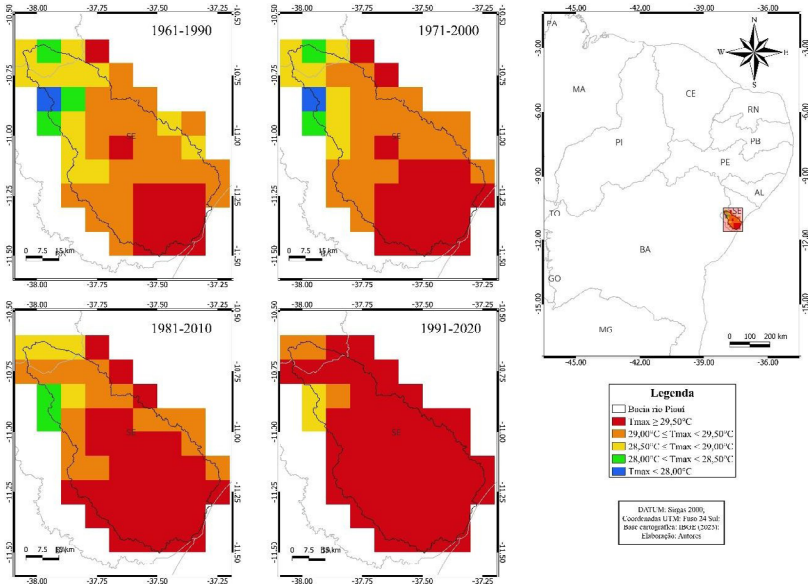
Fonte: Desenvolvido pelos autores

Resultados e discussão

As temperaturas máximas nos períodos estudados, evidenciam que as áreas com temperaturas acima de 29,50°C ocupam cerca de 90% da área da bacia do Piauí no período 4, indicando aumento expressivo e progressivo da temperatura na região (Figura 3). Quanto às temperaturas mínimas, nos quatro períodos avaliados a predominância é de áreas com Tmin entre 21°C e 22°C, observando-se, porém, crescimento da área com mínimas maiores que 22°C, especialmente no período 4 (Figura 4).

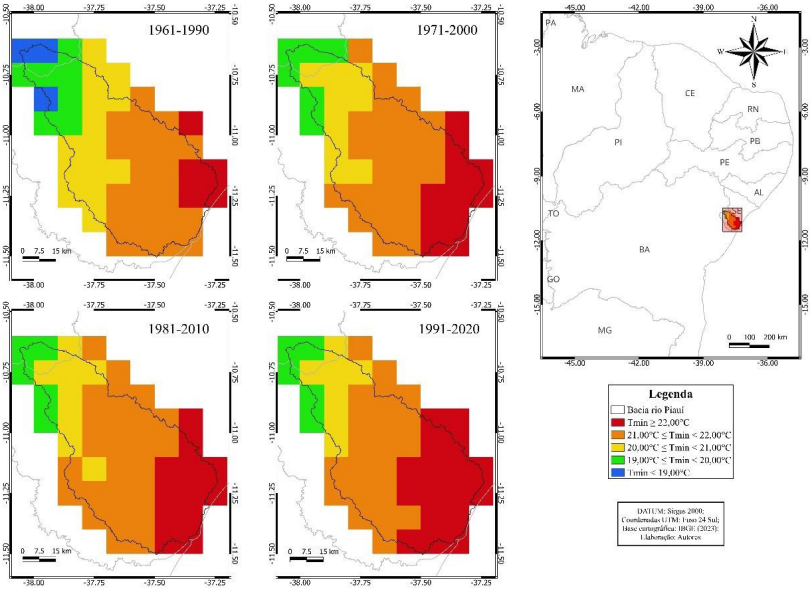
O aumento da temperatura evidenciado na área estudada pode estar relacionado ao fenômeno que, em escala global, já ultrapassou a marca de 1,5ºC de aquecimento (Copernicus, 2025), e diretamente relacionado ao aumento da emissão de gases do efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO2), ozônio (O3), metano (CH4) e vapor de água (H2O) (Richie; Roser, 2017).

Figura 3 – Evolução da temperatura máxima na região



Fonte: Desenvolvido pelos autores

Figura 4 – Evolução da temperatura mínima na região



Fonte: Desenvolvido pelos autores

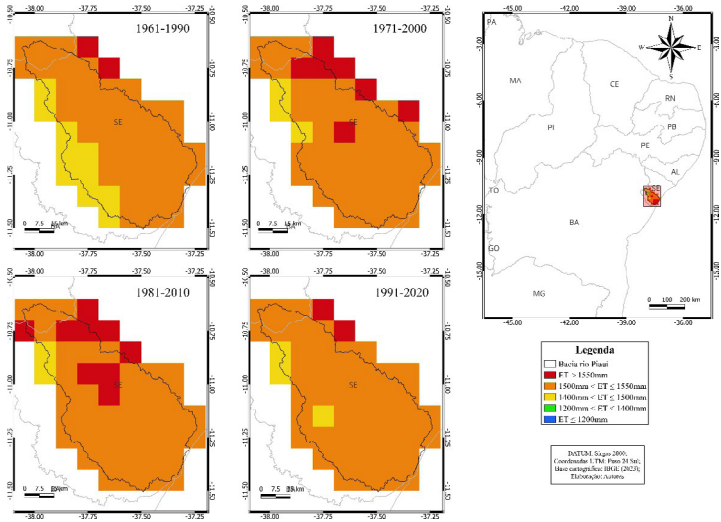
O aumento da temperatura exerce influência sobre os processos hidrológicos locais, com o ar mais aquecido, há uma maior capacidade de retenção de vapor d'água, o que pode alterar os padrões de chuva, intensificando eventos extremos em algumas regiões e reduzindo a frequência ou o volume em outras. Além disso, temperaturas mais elevadas aumentam a taxa de evapotrans-piração, intensificando a perda de água do solo e da vegetação para a atmosfera (Ferreira; Kemenes, 2023)

Avaliando a evolução da ET anual (Figura 5), evidencia-se uma intensificação do processo de evapotranspiração ao longo da série histórica. A maior parte da região próxima ao divisor da bacia hidrográfica do rio Real, que apresentava, no período 1 (1961-1990), os menores valores dessa variável (entre 1400 mm e 1500 mm anuais), passou a registrar taxas anuais entre 1500 mm e 1550 mm no fim da série. O aumento das taxas de ET pode estar associado às temperaturas mais altas, que foram observadas neste trabalho, pois quanto maior a quantidade de energia disponível, maior a evaporação da água do solo e maior o estímulo à abertura dos estômatos das plantas, elevando a liberação de vapor d'água pela transpiração (Trenberth *et al.*, 2014).

Além da variável térmica, outro fator que pode estar associado a esse fenômeno é a mudança no uso e ocupação do solo. A alteração da vegetação original do bioma por culturas agrícolas, segundo Lemos Filho *et al.* (2010), afeta diretamente as taxas de ET.

Em relação à precipitação (Figura 6), embora a variável tenha apresentado menor variabilidade ao longo da série, observa-se uma leve redução nas áreas de cabeceira da bacia. Nessas regiões, a precipitação anual, que no período 1 variava entre 800 mm e 1000 mm, passou a registrar valores entre 600 mm e 800 mm nos períodos seguintes.

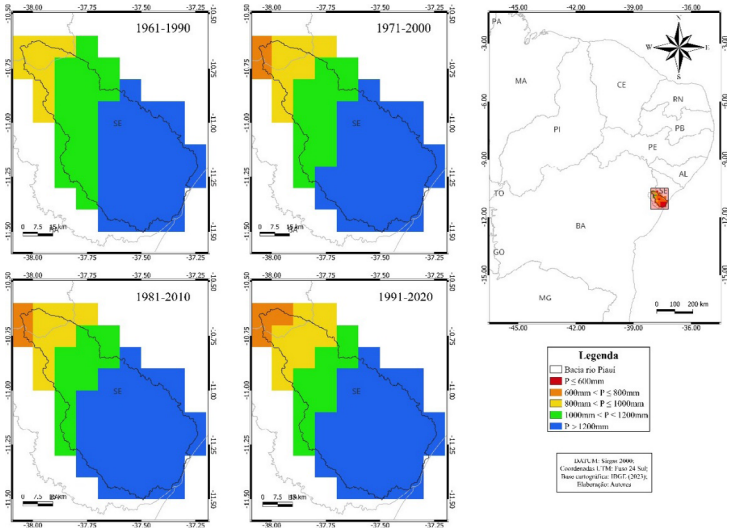
Figura 5 – Evolução da ET na região



Fonte: Desenvolvido pelos autores

Essa redução, ainda que modesta, quando combinada ao aumento da ET impulsionado pelas temperaturas mais altas, pode comprometer significativamente o balanço hídrico da bacia, elevando o déficit hídrico e agravando a vulnerabilidade ambiental.

Figura 6 –Evolução da precipitação na região



Fonte: Desenvolvido pelos autores

Conclusão

Este estudo revelou uma alteração nas variáveis analisadas evidenciando estar havendo uma mudança no comportamento do clima na bacia do Rio Piauí com um aumento das áreas com temperaturas médias altas e diminuição das áreas com temperaturas inferiores a 19,00°C. A elevação da temperatura, particularmente, na Bacia do Piauí pode estar associada com a intensificação no processo de evapotranspiração da região. A evapotranspiração por sua vez reflete a resposta da vegetação às altas temperaturas e manifesta-se de forma diferenciada em cultivos agrícolas e em espécies características do semiárido, esta última adaptada a perda mínima de água.

Sendo assim a evapotranspiração poderia estar sendo afetada pelas atividades antrópicas como agricultura e pecuária. Combinado a isso a diminuição das lâminas precipitadas nas proximidades da cabeceira traz um cenário de alerta, não apenas para o futuro da disponibilidade hídrica para as atividades econômicas e sociais, mas também em como esse problema está afetando a biodiversidade do bioma da Caatinga.

Em estudos futuros, sugere-se uma análise aprofundada do índice de aridez a fim de observar o comportamento climático da bacia, verificar o uso da terra e correlacionar com a evolução da evapotranspiração, e realizar testes de tendência nessas variáveis. Esses resultados podem estar relacionados às mudanças climáticas globais, necessitando igualmente estudos mais aprofundados e aplicáveis às demais bacias do semiárido nordestino.

Referências

ABREU, L. P.; MUTTI, P. R.; LIMA, K. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, Nordeste do Brasil. Repositório UFRN, v. 7, n. 2, 2019.

ALEXANDER, L. V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. Weather and Climate Extremes, v. 11, p. 4-16, 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação. Nota Técnica: Elaboração dos Mapas de Índice de Aridez e Precipitação Total Acumulada para o Brasil. CEMADEN e INPE, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do- cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais/nota- tecnica_aridas.

BRASIL. Monitor de Secas. 2024. Disponível em: https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=5&ano=2024. Acesso em: 23 jun. 2024.

COPERNICUS. CLIMATE CHANGE SERVICE. Global Climate Highlights 2024. Disponível em: https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024. Acesso em: 12 jan. 2025.

FERREIRA, Luanny Gabriele Cunha; KEMENES, Alexandre. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. Revista Brasileira de Climatologia, v. 32, p. 634-657, 2023.

FONTES, A. R.; LUCAS, A. A. T.; CARVALHO, M. E. S. Índice de qualidade da água na microbacia do rio Caiçá, no perímetro urbano de Simão Dias/SE. **Revista de Ciências Ambientais**. v. 11, n. 2, 2017.

FOSTER, G.; ROYER, D.; LUNT, D. Forças climáticas futuras potencialmente sem precedentes nos últimos 420 milhões de anos. Nature Communications, v. 8, p. 14845, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms14845.

FRIEDLINGSTEIN, P.; O'SULLIVAN, M.; JONES, M. W.; ANDREW, R. M.; *et al.* Global Carbon Budget 2022. Earth System Science Data, v. 14, n. 4, p. 1917-2005, 2022. DOI: https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-2022.

JUNG, M.; REICHSTEIN, M.; MARGOLIS, H. A.; CESCATTI, A.; RICHARDSON, A. D.; ARAIN, M. A. *et al.* Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, 94 and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations. J. Geophys. Res. Biogeosciences 116, G00J07, 2011. https://doi.org/10.1029/2010JG001566.

LEMOS FILHO, L. C. D. A.; CARVALHO, L. G. D.; EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. M. T. D.; DANTAS, A. A. A. Spatial-time analysis of evapotranspiration reference in the Minas Gerais State, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, p. 1462-1469, 2007.

LIMA, R. G. S. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA A PARTIR DE BASE DE DADOS ESPACIALIZADA EM ALTA

RESOLUÇÃO. 2025. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, v. 22, p. 83-96, 2008.

PAZ, Y. M.; GALVÍNCIO, J. D.; HOLANDA, R. M.; SRINIVASA, R.; JONES, C. A. Análise de sensibilidade e calibração espacial do modelo SWAT aplicado em uma bacia do litoral pernambucano através de dados climáticos observados e de reanálise. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, 2018.

RICHIE, H.; ROSER, M. **CO_2 and other Greenhouse Gas Emissions**. Our World in Data, 2017.

TRENBERTH, K.; DAI, A.; VAN DER SCHRIER, G.; JONES, P. D.; BARICHIVICH, J.;

BRIFFA, K. R.; SHEFFIELD, J. Aquecimento global e mudanças na seca. *Nature Climate Change*, v. 4, p. 17–22, 2014. DOI: 10.1038/nclimate2067.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. ABRHidro, 2005.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)–International *Journal of Climatology*, p. 1-15, 2022. DOI: 10.1002/joc.7731.

Critérios e Ações Ambientais do ESG em Restaurantes Listados na B3

Isadora Rizzon de Vargas[1], Marlei Salete Mecca[2], Suzana Maria De Conto[3], Fernanda Rizzon de Vargas[4]
[1]*Universidade de Caxias do Sul (irvargas@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (msmecca@ucs.br)*
[3]*Universidade de Caxias do Sul (smcmande@ucs.br)*
[4]*Universidade Federal de Pelotas (fernandarizzonvargas@gmail.com)*

Resumo: O estudo, de caráter exploratório e descritivo, busca, pela análise documental, identificar critérios e ações, com foco no eixo ambiental do ESG, em restaurantes listados na B3. A pesquisa concentra-se nas empresas International MEAL Company Alimentação S.A. e ZAMP S.A. O objetivo é analisar como esses restaurantes abordam e comunicam suas práticas sustentáveis e integram os critérios ambientais do ESG em sua gestão e operação, com base nas diretrizes da ABNT PR 2030-1. Os resultados revelaram que, entre as duas empresas analisadas, apenas a ZAMP S.A. disponibilizou informações detalhadas sobre a aplicação de critérios ambientais, especialmente em seu relatório de sustentabilidade de 2021. Neste documento, a empresa destaca práticas como economia circular, redução de resíduos e metas para mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, a MEAL Company Alimentação S.A. não apresentou registros ou políticas ambientais. Assim, a pesquisa evidenciou a falta de uniformidade na divulgação de informações ambientais, apontando desafios para a adoção eficaz dessas práticas no setor alimentício. Este estudo contribui para a literatura ao oferecer uma análise da implementação do eixo ambiental do ESG nos restaurantes listados na B3, além de destacar a importância da transparência e da adoção de práticas sustentáveis para atender às demandas éticas e globais.

Palavras-chave: ESG. Critérios ambientais. Práticas ambientais em restaurantes.

Criteria and Environmental Actions of ESG (Environmental, Social, and Governance) in Restaurants Listed on B3 (Brasil Bolsa Balcão)

Abstract: The study, of an exploratory and descriptive nature, seeks, through documentary analysis, to identify criteria and actions, focusing on the environmental axis of ESG, in restaurants listed on B3. The research focuses on the companies International MEAL Company Alimentação S.A. and ZAMP S.A. The objective is to analyze how these restaurants approach and communicate their sustainable practices and integrate ESG environmental criteria into their management and operations, based on the ABNT PR 2030-1 guidelines. The

results revealed that, among the two companies analyzed, only ZAMP S.A. provided detailed information on the application of environmental criteria, especially in its 2021 sustainability report. In this document, the company highlights practices such as circular economy, waste reduction and targets for mitigating greenhouse gas emissions. On the other hand, MEAL Company Alimentação S.A. did not present environmental records or ambiental policies. Thus, the research evidenced the lack of uniformity in the disclosure of environmental information, highlighting challenges for the effective adoption of these practices in the food sector. This study contributes to the literature by offering an analysis of the implementation of the environmental axis of ESG in restaurants listed on B3, while also emphasizing the importance of transparency and the adoption of sustainable practices to meet ethical and global demands.

Key words: ESG. Environmental criteria. Environmental practices in restaurants.

Introdução

A sustentabilidade, de acordo com a ABNT (2024, p. 8), é definida como "estado do sistema global, incluindo os aspectos ambientais, sociais e econômicos, no qual as necessidades do presente são atendidas sem comprometer a capacidades das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades". A preocupação para garantir a inserção da sustentabilidade nos estudos acadêmicos e nas organizações, é expressa, principalmente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, propostos pela ONU, com metas a serem alcançadas até 2030. Segundo o Relatório Brundtland (WCED, 1987), o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Nesse contexto, observa-se um movimento crescente de empresas que buscam incorporar práticas ambientalmente responsáveis em suas operações. No entanto, a implementação dessa demanda, tanto global quanto regional, por um padrão sustentável de atuação empresarial, varia entre os setores, influenciada por fatores como regulamentação, estrutura organizacional e demanda do mercado (Bebbington *et al*., 2017).

O conceito de ESG (Ambiental, Social e Governança) surgiu como um modelo estruturado para avaliar o compromisso das empresas com questões ambientais, sociais e de governança (Friede; Busch; Bassen, 2015). A crescente relevância do ESG deve-se, em grande parte, à pressão exercida por investidores institucionais, reguladores e consumidores, que exigem maior transparência e responsabilidade corporativa (Eccles; Ioannou; Serafeim, 2014). Estudos indicam que empresas que

incorporam estratégias ESG tendem a apresentar melhor desempenho financeiro e menor risco operacional (Clark; Feiner; Viehs, 2015). No setor alimentício, a adoção de práticas sustentáveis é particularmente relevante devido ao alto impacto ambiental da produção e consumo de alimentos, incluindo o desperdício, o uso excessivo de recursos naturais e as emissões de gases de efeito estufa (Gössling *et al*., 2011).

Quanto à implantação de práticas seguras e alinhadas ao ESG, o setor de alimentação enfrenta desafios específicos. Este setor é caracterizado por uma cadeia produtiva complexa, em que questões como rastreabilidade dos insumos, desperdício de alimentos e consumo de energia e de água desempenham um papel crítico (Silvennoinen *et al*., 2015). Além disso, há uma crescente demanda por parte dos consumidores por transparência e responsabilidade socioambiental, o que exige que os estabelecimentos adotem soluções que minimizem impactos negativos e promovam a eficiência operacional (Filimonau; Gherbin, 2017). No que tange aos restaurantes, De Conto *et al.* (2018) evidenciam sobre o uso não controlado dos recursos naturais desse setor gastronômico, com destaque especial ao desperdício de alimentos. Os impactos ambientais decorrentes do consumo de energia, de água e de ingredientes, como também a geração exacerbada de resíduos sólidos, também são apresentados pelos autores.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa, aqui apresentado, parte da implementação de práticas de sustentabilidade em restaurantes listados na Bolsa de Valores do Brasil (B3, 2025), com foco específico do eixo ambiental do ESG, constantes nos relatórios de sustentabilidade disponibilizados nos sites das empresas International MEAL Company Alimentação S.A. (2025) e ZAMP S.A. (2025). A justificativa para essa investigação está na escassez de referencial teórico, principalmente no âmbito nacional, sobre a aplicação prática dos critérios ESG no setor gastronômico, especialmente entre os restaurantes listados na B3. Embora a sustentabilidade seja um tema crescente, se faz necessário potencializar estudos que investiguem como o setor gastronômico está atendendo às exigências regulatórias e às expectativas dos consumidores por maior transparência e responsabilidade socioambiental.

Assim, o objetivo do estudo é analisar como esses restaurantes abordam e comunicam suas práticas sustentáveis e integram os critérios ambientais do ESG em sua gestão e operação, com base nas diretrizes da ABNT PR 2030-1.

Referencial Teórico

O desenvolvimento sustentável, conforme o Relatório Brundtland (WCED, 1987), é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Nessa perspectiva, esse modelo de desenvolvimento tem sido amplamente debatido ao longo das últimas décadas, consolidando-se como um princípio essencial para o equilíbrio entre desenvolvimento econômico, preservação e conservação ambiental e bem-estar social. Esse entendimento é refletido, por exemplo, nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela ONU em 2015, que visam promover ações globais para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir a prosperidade para todos até 2030.

Nessa direção, surge o ESG (Ambiental, Social e Governança), cujo conceito incorpora uma estrutura para avaliar a sustentabilidade corporativa em três dimensões fundamentais: ambiental, social e de governança. Friede, Busch e Bassen (2015) destacam que a incorporação de critérios ESG nas empresas está diretamente relacionada ao seu desempenho financeiro e à mitigação de riscos. Empresas que adotam práticas ambientais responsáveis, políticas sociais inclusivas e mecanismos de governança eficazes tendem a apresentar maior resiliência em cenários de crise e uma melhor percepção junto a investidores e consumidores.

Eccles, Ioannou e Serafeim (2014) reforçam essa perspectiva ao analisar como empresas com forte governança ESG se tornam mais competitivas em longo prazo. Segundo os autores, a transparência na divulgação de informações socioambientais contribui para a construção de uma confiança sólida, atraindo investidores comprometidos com a sustentabilidade. Além disso, Clark, Feiner e Viehs (2015) argumentam que empresas com boas práticas ESG apresentam menor volatilidade no mercado financeiro e maior capacidade de adaptação às exigências regulatórias.

No contexto empresarial, a implementação do ESG não se limita a relatórios de sustentabilidade ou ações isoladas, mas envolve uma redefinição de estratégias organizacionais. Isso inclui a redução da pegada de carbono, o uso eficiente de recursos naturais, a promoção da diversidade e inclusão, além do fortalecimento da ética e da transparência nos processos decisórios (Gössling *et al*., 2011). A adoção desses princípios

não apenas diminui os impactos negativos, mas também gera valor para as partes interessadas, criando um modelo de negócios mais sustentável e responsável.

Nessa perspectiva, a ABNT PR 2030-1 (ABNT, 2024) apresenta um modelo estruturado e adaptável para a adoção de ações sustentáveis, com enfoque em questões ambientais, sociais e de governança (ASG). Sob o viés do eixo ambiental, a PR 2030-1 expõe, de forma detalhada, como as organizações podem gerenciar seus impactos ambientais, com o objetivo de reduzir ou eliminar os efeitos negativos e ampliar os positivos. O eixo ambiental é composto por cinco temas principais: mudanças climáticas, recursos hídricos, biodiversidade e serviços ecossistêmicos, economia circular e gestão de resíduos, e gestão ambiental e prevenção da poluição. Cada tema é subdividido em critérios específicos que auxiliam as organizações na incorporação de práticas sustentáveis em suas estratégias, gerando valor tanto para a empresa quanto para o meio ambiente (ABNT, 2024). O Quadro 1, que se encontra no item 4, resultados, apresenta o eixo ambiental da PR 2030-1 (ABNT, 2024), incluindo seus temas e critérios.

A ABNT PR 2030-1 estabelece uma avaliação sistemática em níveis de maturidade, permitindo que as organizações identifiquem seu estágio atual e definam metas claras para atingir novos níveis de sustentabilidade. A partir do modelo apresentado, a ABNT procura promover a integração dos conceitos de sustentabilidade e gestão ambiental com a estratégia organizacional, incentivando ações que não apenas atendem às exigências regulatórias, mas que também contribuem para a preservação dos recursos naturais e a mitigação de impactos ambientais. Essa prática recomendada auxilia as empresas no alinhamento com as melhores práticas globais e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, refletindo seu compromisso com o desenvolvimento sustentável (ABNT, 2024).

Nesse contexto, o setor gastronômico, no âmbito nacional e internacional, ainda apresenta lacunas, não apenas na implantação do ESG em seu negócio, mas também na produção do conhecimento sobre o tema. Finkler e De Conto (2024) destacam que a produção científica sobre ESG em restaurantes ainda é escassa. Maynard *et al*. (2020) desenvolveram um checklist prático que engloba os três pilares da sustentabilidade, evidenciando a dimensão ambiental. O instrumento auxilia proprietários de serviços de alimentação a usar e aplicar os

indicadores de sustentabilidade em seus estabelecimentos. Também, Duarte *et al.* (2022) contribuem com seus estudos com a elaboração de um instrumento específico, para orientar a implantação e a análise das práticas socialmente sustentáveis em serviços de alimentação.

Metodologia

O estudo, de caráter exploratório e descritivo, busca analisar como restaurantes abordam e comunicam suas práticas sustentáveis e integram os critérios ambientais do ESG em sua gestão e operação, com base nas diretrizes da ABNT PR 2030-1. A inclusão na lista da Bolsa de Valores (B3, 2025) foi o critério de seleção desse setor gastronômico. As seguintes etapas foram realizadas para identificar os restaurantes na B3: primeiramente foi localizado o setor de consumo cíclico, posteriormente dentro deste setor foi definido o subsetor hotéis e restaurantes. Nesse subsetor, chegou-se ao segmento de restaurantes e similares.

Após a localização das empresas nesse segmento, foi realizada a consulta de dados relacionados aos seus relatórios de sustentabilidade em seus sítios eletrônicos.

De posse dos relatórios, iniciou-se a procura (busca de palavras utilizando o recurso da lupa no Windows). As palavras de busca, no sentido de identificar o número de ocorrências das mesmas nos relatórios, foram as mesmas apresentadas nos temas e critérios do eixo ambiental constantes na ABNT PR 2030-1 (2024) e apresentados no Quadro 1. A coleta de dados ocorreu no dia 14 de fevereiro de 2025. Os dados foram, inicialmente, organizados em quadros, considerando os temas e critérios ambientais e o número de ocorrências nos relatórios. Após, realizou-se a leitura dos documentos, extraindo a informações relacionadas às ações desenvolvidas pelos restaurantes em relação aos temas e critérios ambientais.

Resultados

A B3 (Bolsa Brasil Balcão) é uma bolsa de valores brasileira, sediada na cidade de São Paulo. Funciona de forma autorregulada, sob a supervisão da Comissão de Valores Mobiliários e seu indicador de referência é o Ibovespa. Como resultado da busca na B3, localizaram-se duas empresas listadas no setor de “consumo cíclico”, subsetor “hotéis e restaurantes” e segmento “restaurantes e similares”: MEAL Company Alimentação S.A. e ZAMP S.A.

Conforme consta em seu site, a MEAL Company Alimentação S.A. é uma das maiores empresas do varejo de alimentação com origem e atuação no Brasil e nos Estados Unidos. A Meal Company Alimentação é detentora das Marcas Frango Assado, KFC, PIZZA HUT, MARGARITAVILLE, BATATA INGLESA, BRUNELLA, VIENA, R A CATERING. A

ZAMP S.A. apresenta-se, em seu site, como uma operadora de restaurantes que considera as comidas autênticas sinônimo de novas descobertas para as pessoas. Em seu portfólio de Marcas, apresenta o compromisso de evoluir as boas práticas do mercado de alimentação, com foco em resultados e crescimento. É a detentora das marcas Burger King, Popeyes, Starbucks e Subway no Brasil.

Com o objetivo de coletar dados relacionados à sustentabilidade, mais especificamente ao meio ambiente, buscou-se no site da Meal Company Alimentação S.A. relatórios e/ou informações relacionadas. A empresa apresenta no link da governança a composição acionária, diretoria e conselho, estatutos, políticas e regimentos, atas de reunião e assembleia e canal de denúncia bem como informes financeiros. Porém, não foi possível localizar informações acerca da internalização em suas atividades de questões relacionadas ao meio ambiente. O Quadro 1 apresenta as ocorrências em cada um dos temas e critérios.

Quadro 1 – Eixo Ambiental

Eixo: Ambiental					
Tema	**Ocorrência**		**Critério**	**Ocorrência**	
	ZAMP	**MEAL**		**ZAMP**	**MEAL**
Mudanças Climáticas	1	0	Mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE)	1	0
			Adaptação às mudanças climáticas	1	0
			Eficiência energética	0	0
Recursos hídricos	0	0	Uso da água	25	0
			Gestão de efluentes	5	0

Biodiversidade e serviços ecossistêmicos	0	0	Conservação e uso sustentável da biodiversidade	0	0
			Conservação e uso sustentável dos oceanos	0	0
			Uso sustentável do solo	0	0
Economia circular e gestão de resíduos	57	0	Economia Circular	1	0
			Gestão de resíduos	56	0
Gestão ambiental e prevenção da poluição	18	0	Gestão ambiental	17	0
			Prevenção da poluição sonora (ruídos e vibrações)	0	0
			Qualidade do ar (emissão de poluentes)	1	0
			Gerenciamento de áreas contaminadas	0	0
			Produtos perigosos	0	0

Fonte: ABN PR 2030-1 (2024)

A Empresa ZAMP publicou o seu Relatório de Sustentabilidade relativo ao ano de 2021. Nos anos subsequentes, compreendendo 2022 e 2023, não foi possível localizar publicações relacionadas. No ano de 2024 publicou em seu site dois relatórios, um compreendendo o primeiro semestre e outro relativo ao segundo semestre, ambos se restringem em apresentar informações relacionadas ao eixo social, no que diz respeito à transparência e igualdade salarial de mulheres e homens.

Portanto, a análise recai no relatório de 2021. Para tal, foi utilizado o Quadro 1 que apresenta os temas e critérios do eixo ambiental da ABNT PR 2030–1 (ABNT, 2024). Dentro do relatório de sustentabilidade existe um tópico específico que aborda "jornada pela sustentabilidade", onde a empresa apresenta seu planejamento realizado com auxílio de consultoria externa. A empresa destaca que, para "satisfazer as necessidades atuais, sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das gerações futuras, assumimos publicamente compromissos baseados nos critérios ambiental, social e de governança – ESG". (p.13 relatório).

Retornando ao quadro, que identifica os temas e critérios do eixo ambiental, efetuou-se a busca pelas palavras-chaves. O tema mudanças climáticas foi citado apenas uma vez na indicação da matriz de materia-

lidade. O critério mitigação de emissões de gases de efeito estufa possui uma referência na página 31, relacionado ao planejamento "reduzir em 30% as emissões de gases de efeito estufa em nossa Companhia até 2030". Para o critério eficiência energética não se localizou nenhuma menção.

O tema recursos hídricos não é tratado com a utilização desses termos. Dentro do tema recursos hídricos encontra-se o critério "uso da água" com 25 ocorrências para a palavra água. O termo água consta na descrição de materialidade do item Gestão ambiental e mitigação de impactos associados, e destaca como meta a gestão do consumo de recursos naturais, como água e energia. Outra citação está relacionada a "Garantir que 100% dos novos equipamentos ou substituições utilizam tecnologias ecologicamente eficientes (LED, A/C Inverter e reuso de água) até 2025" (p.31 Relatório de Sustentabilidade). Na página 32 do relatório encontra-se a terceira ocorrência da palavra água "Dentro dos restaurantes adotamos tecnologias que minimizem a utilização de água e energia elétrica". Encontra-se também referência a "água" na página 32, que aborda inclusive a gestão de efluentes. Consta no relatório que, em 2021, a empresa implantou um sistema de reuso de água para minimizar desperdício em restaurantes, representando aproximadamente 15% do total. A água, captada (inclusive via condensamento de ar-condicionado) é reutilizada na jardinagem e descarga de banheiros. Além disso, os produtos de limpeza são biodegradáveis e 100% do óleo coletado nos restaurantes são reciclados, não havendo a possibilidade de descarte inapropriado e poluição da água. As demais citações do termo água são utilizadas em quadros, tabelas e juntamente com a gestão de efluentes que será abordado na sequência. Ainda na página 33 consta "Em relação ao tratamento de efluentes, não existem impactos significativos quanto ao tratamento de esgoto das unidades, tendo em vista que são orgânicos. As demais ocorrências, da palavra "efluentes", encontram-se em quadros e tabelas. Sobre o tema "Biodiversidade e serviços ecossistêmicos" e sobre os critérios que o compõem que são "conservação e uso sustentável da biodiversidade", "conservação e uso sustentável dos oceanos" e "uso sustentável do solo", não foram encontradas nenhuma ocorrência dos termos.

O próximo tema do Eixo Ambiental do ESG, conforme ABNT PR 2030-1 (2024) trata da economia circular e gestão de resíduos e contém os critérios "economia circular" e "gestão de resíduos". O

termo circular consta em apenas uma citação como “circularidade” em um quadro (p. 14) que apresenta itens de materialidade: “Investir em iniciativas de circularidade, reciclagem, reaproveitamento e uso de materiais renováveis e/ou provenientes de operações de recuperação.”. Sobre resíduos constam 56 ocorrências, sendo que um dos principais temas é a redução da geração de resíduos. No relatório consta que o compromisso da empresa está focado em reduzir o número de embalagens, pacotes e materiais que seriam descartados. Na página 34 do relatório constam várias informações relacionadas a resíduos e aos compromissos da organização, como melhorar, anualmente a gestão de resíduos por meio do uso de materiais menos poluentes e certificados, com maior reaproveitamento e destinação ambientalmente correta para os que não podem ser reutilizados. A empresa também apresenta dados quantitativos sobre resíduos e reciclagem. As demais utilizações da palavra “resíduos” constam em tabelas e quadros.

O último tema do Eixo ambiental do ESG está relacionado à “Gestão ambiental e prevenção da poluição”, com os critérios “gestão ambiental”, “prevenção da poluição sonora (ruídos e vibrações)”, “qualidade do ar (emissão de poluentes)”, “gerenciamento de áreas contaminadas” e “produtos perigosos”. A palavra “ambiental” aparece 17 vezes e a palavra “poluição” uma vez. Em uma das ocorrências consta, na mensagem da liderança na página 4, “Investir no Social faz parte da nossa preocupação com os pilares ESG (Ambiental, Social e de Governança)”. Encontram-se outras abordagens na página 17 “temos convicção, sobretudo, que o desenvolvimento de uma agenda socioambiental está vinculado a uma boa governança corporativa”, na página 22 “a preservação ambiental e social no desenvolvimento das atividades e temas ligados à governança são considerados os principais fatores...”. Também, na página 29, “na rotulagem de produtos e serviços exigimos dos fornecedores informações sobre a terceirização de componentes; conteúdo, principalmente com respeito a substâncias que possam gerar um impacto ambiental ou social; forma de uso seguro e disposição do produto e impactos ambientais ou sociais”. As demais citações estão em quadros e tabelas.

Sobre o termo poluição, que aparece uma vez no texto, encontra-se junto com a abordagem da água na página 33, “os produtos de limpeza são biodegradáveis e 100% do óleo coletado nos restaurantes são reciclados, não havendo a possibilidade de descarte inapropriado e

poluição da água". Sobre poluição, especificamente sonora, não consta nenhum registro. Sobre a qualidade do ar existe uma citação relacionada a poluentes na página 34 "nosso compromisso é melhorar, ano a ano, a gestão de resíduos por meio do uso de materiais menos poluentes e certificados ".

Sobre gerenciamento de áreas contaminadas não constam ocorrências. Com relação a "produtos perigosos" também não consta nenhuma ocorrência, apenas com a expressão "resíduos perigosos" que estão em duas tabelas/quadros.

Considerações finais

Diante do exposto, é possível concluir que a crescente relevância do ESG no setor gastronômico reflete a demanda por maior responsabilidade socioambiental e transparência corporativa, alinhada às exigências regulatórias e às expectativas dos consumidores. No entanto, como apontado por Elkington (1997) e Bebbington *et al.* (2017), a adoção dessas práticas varia conforme o setor e as condições estruturais de cada organização.

Os principais resultados indicam uma falta de uniformidade na divulgação das informações ambientais pelas empresas analisadas. Enquanto a ZAMP S.A. apresenta iniciativas voltadas à redução de emissões de gases de efeito estufa e à gestão de resíduos, a International Meal Company Alimentação S.A. não disponibiliza relatórios de sustentabilidade, dificultando a avaliação de seu desempenho ambiental. Esses achados reforçam a importância da transparência na adoção de práticas sustentáveis, como destacado por Eccles, Ioannou e Serafeim (2014).

A contribuição teórica deste estudo está na ampliação da literatura sobre ESG em restaurantes e similares, evidenciando a necessidade de maior alinhamento das empresas aos princípios de sustentabilidade definidos pela ABNT PR 2030-1 e pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Do ponto de vista gerencial, este estudo destaca a importância de uma gestão ambiental estruturada e da integração de boas práticas ESG nas estratégias corporativas. A adoção de padrões globais de sustentabilidade pode contribuir para a redução de riscos operacionais e fortalecer

a reputação das empresas no mercado, como sugerem Clark, Feiner e Viehs (2015).

Por fim, as limitações desta pesquisa incluem a escassez de informações ambientais divulgadas por algumas empresas e a ausência de dados mais recentes. Sugere-se que estudos futuros ampliem a investigação para outras empresas do setor e incluam entrevistas com gestores para compreender os desafios da implementação do ESG na prática.

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR 2030-1**: Prática Recomendada – Ambiental, Social e Governança (ESG) Parte 1: Conceitos, Diretrizes e Modelo de Avaliação e Direcionamento para Organizações. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

B3: Bolsa, Brasil, Balcão. Disponível em: https://www.b3.com.br/. Acesso em: 20 jan. 2025. BEBBINGTON, J.; ÖSTERBLOM, H.; CRONA, B.; JOUFFRAY, J. B.; LARRINAGA, C.; RUSSELL, S.; SCHOLTENS, B. Accounting and accountability in the Anthropocene. Accounting, Auditing and Accountability Journal, v. 33, n. 1, p. 152-177, 2020.

CLARK, G. L.; FEINER, A.; VIEHS, M. From the stockholder to the stakeholder: how sustainability can drive financial outperformance. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 5, n. 4, p. 292-305, 2015.

DE CONTO, S. M.; BINZ, P.; FABRIM, C. F.; PRATES, M. P. Gastronomia sustentável e minimização de desperdícios/impactos ambientais. In: ZARO, M. (Org.). **Desperdício de alimentos**: velhos hábitos, novos desafios. 1. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2018, p. 312-328.

DUARTE, G. V. N. L.; PROCÓPIO, S. P. A.; CARNEIRO, A. C. L. L.; CARDOSO, L. de M. Development and validation of a tool for assessing sustainable social practices in food services.

Sustainability, *[s.l]*, v. 14, n. 24, p. 1-18, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su142416791. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16791. Acesso em: 13 jul. 2023.

ECCLES, R.; IOANNOU, I.; SERAFEIM, G. The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. **Management Science**, v. 60, n. 11, p. 2835-2857, 2014.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks:** the triple bottom line of 21st century business. Chichester: Capstone Publishing, 1997.

FILIMONAU, V.; GHERBIN, A. Sustainable food waste management in the foodservice industry: a review of the literature. **Tourism Management Perspectives**, v. 24, p. 38-47, 2017.

FINKLER, R.; DE CONTO, S. M. Produção científica sobre ESG em restaurantes. **Rosa dos Ventos – Turismo e Hospitalidade**, v. 16, n. 4, p. 906-923. 2024. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v16i4p923. Acesso em: 16 fev. 2025.

FRIEDE, G.; BUSCH, T.; BASSEN, A. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. **Journal of Sustainable Finance & Investment**, v. 5, n. 4, p. 210-233, 2015.

GÖSSLING, S.; HALL, C. M.; CIRILLO, C. The role of tourism in sustainability: a global perspective. **Tourism Management**, v. 33, p. 219-230, 2011.

MAYNARD, D. da C.; ZANDONADI, R. P.; NAKANO, E. Y.; BOTELHO, R. B. A. Sustainability indicators in restaurants: the development of a checklist. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 1-25, 2020b. DOI: https://doi.org/10.3390/su12104076. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4076. Acesso em: 8 out. 2021.

MEAL Company Alimentação S.A. Disponível em: www.internationalmealcompany.com. Acesso em: 20 jan. 2025.

SILVENNOINEN, K.; HEINONEN, M.; JOKINEN, P.; KOPONEN, A.; VAINIO, A. Food waste in the food service industry: challenges and solutions. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 249-258, 2015.

WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT). **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025..

ZAMP S.A. Disponível em: www.burgerking.com.br/ri. Acesso em: 20 jan. 2025.

Método simples e ecológico para desenvolver superfícies anticorrosivas sustentáveis em ligas de alumínio

Rafaela Rocha Cunha[1], Guilherme Kusler Possani[2], Eduardo Luis Schneider[3], Lisete Cristine Scienza[4]
[1]Engenharia de Materiais/UFRGS (rafaelarcunha2004@gmail.com)
[2]PPGE3M/UFRGS (guilhermepossani@hotmail.com)
[3]PPGE3M/UFRGS (prof.eduardo@ufrgs.br)
[4]PPGE3M/UFRGS (lisete.scienza@ufrgs.br)

Resumo: Com a crescente crise da poluição global as superfícies super-hidrofóbicas autolimpantes de plantas, como as folhas de lótus, atraíram pesquisas visando a produção artificial daquelas estruturas em diferentes materiais. O alumínio e suas ligas são suscetíveis à contaminação e/ou corrosão em ambientes severos e a modificação das superfícies com revestimentos super-hidrofóbicos que ofereçam baixo impacto ambiental são opções ecologicamente aceitáveis para melhorar a resistência à corrosão. Na fabricação de superfícies altamente repelentes à água, a modificação da química da superfície é sempre combinada com incremento da rugosidade da superfície em escala micro/nanométrica. Neste estudo, revestimentos super-hidrofóbicos nas ligas de alumínio AA7475 e AA5052 foram preparados empregando um método químico simples utilizando hidróxido de potássio e ácido láurico. A molhabilidade e morfologia da superfície foram caracterizadas usando medição de ângulo de contato e microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo. Microestruturas hierárquicas e diferenciadas foram formadas nas superfícies das ligas tratadas o que levou à obtenção de ângulos de contato superiores a 140°. Adicionalmente os revestimentos produzidos apresentaram excelente capacidade de autolimpeza e resistência à corrosão em solução de cloreto de sódio. No entanto, a viabilidade para aplicação em grande escala, a durabilidade e a resistência mecânica destes revestimentos são alguns aspectos que limitam o seu uso em escala industrial.

Palavras-chave: alumínio, corrosão, molhabilidade.

Simple and environmentally friendly method to develop sustainable anticorrosive surfaces on aluminum alloys

Abstract: With the growing global pollution crisis,the self-cleaning superhydrophobic surfaces of plants, such as lotus leaves, have attracted research that aims to artificially produce these structures in different materials. Aluminum and its alloys are susceptible to contamination and/or corrosion in aggressive

environments and modifying surfaces with superhydrophobic coatings, which offer low environmental impact, are ecologically acceptable options for improving corrosion resistance. In the manufacture of highly water-repellent surfaces, modification of the surface chemistry is always combined with an increase in surface roughness on a micro/nanometer scale. In this study, superhydrophobic coatings on aluminum alloys AA7475 and AA5052 were prepared employing a simple chemical method using potassium hydroxide and lauric acid. Surface wettability and morphology were characterized using contact angle measurement and field emission scanning electron microscopy. Hierarchical and differentiated microstructures were formed on the surfaces of the treated alloys, which led to the achievement of contact angles greater than 140°. Additionally, the coatings produced showed excellent self-cleaning capacity and resistance to corrosion in sodium chloride solution. However, the feasibility of large-scale application, durability and mechanical resistance of these coatings are some aspects that limit the use of these coatings on an industrial scale.

Key words: aluminum, corrosion, wettability.

Introdução

O progresso revolucionário na industrialização e a crescente urbanização testemunhou nos últimos anos a intensidade da poluição do meio ambiente. Tanto os materiais como os seres vivos têm sido expostos a riscos aumentados, de forma que novas estratégias para preservar materiais e outros recursos precisam ser desenvolvidos a fim de melhorar a qualidade e a vida útil dos materiais de forma sustentável, mantendo o meio ambiente "verde" (Ahmad & Patel, 2012).

A corrosão metálica tem sido um fenômeno perigoso para os recursos naturais, riscos econômicos e de segurança em todo o mundo. Dados mostram que o custo anual da corrosão é de cerca de 4% – 6% do PIB mundial. O fenômeno da corrosão não é novo e vários métodos têm sido desenvolvidos e constantemente aperfeiçoados a fim de mitigar seu efeito (Miller *et al.*, 2021). No entanto, as soluções anticorrosivas existentes precisam ser transformadas para "soluções verdes" através do desenvolvimento de técnicas ecológicas. Entre os métodos de prevenção de corrosão, o uso de revestimentos é o mais amplamente praticado, mas levantou sérias preocupações devido ao seu efeito sobre a poluição ambiental. Assim, novas regulamentações ambientais têm focado, por exemplo, na redução de compostos orgânicos voláteis (VOCs) em tintas, no emprego de inibidores de corrosão verdes, na substituição de tratamentos que empregam substâncias tóxicas ou carcinogênicas, tais como a cromatização e a fosfatização, por tratamentos menos agres-

sivos à base de silanos ou nanocerâmicos, entre outros. Deste modo, um significativo progresso tem sido observado nos últimos anos na fabricação de superfícies especialmente projetadas para se obter certas funcionalidades, como as superfícies super-hidrofóbicas (SHS). As SHS possuem excelente ação fotocatalítica, repelência à água e poeira e características de resistência à corrosão, entre outras, representando uma alternativa ecológica de última geração em técnicas de proteção à corrosão (Ahmad & Patel, 2012).

O revestimento super-hidrofóbico é uma alternativa devido à sua alta resistência à água, sendo capaz de reduzir a taxa de corrosão através do isolamento do metal com o meio corrosivo. Uma SHS é caracterizada por possuir um ângulo de contato com a água (WAC) igual ou superior a 150˚ e ângulo de deslizamento (SA) menor que 10˚. A energia superficial e a morfologia da superfície são fatores que se relacionam com a molhabilidade da SHS (Miller *et al.*, 2021).

Geralmente, a super-hidrofobicidade é determinada principalmente pela topografia e composição química da superfície sólida. Embora na natureza várias plantas e animais apresentem esta propriedade, o exemplo mais conhecido de super-hidrofobicidade é a folha da planta de lótus, que possui uma estrutura superficial hierarquicamente rugosa em escala dupla. As protuberâncias micrométricas na superfície de lótus (células epidérmicas) são providas com estruturas finas sub micrométricas (ceras epicuticulares). Devido a isso, gotas de água em sua superfície fazem com que o ar fique preso entre o líquido e as rugosidades do sólido. Devido à pequena área de contato líquido-sólido, a adesão das gotas à superfície é mínima e, consequentemente, rolam facilmente, impedindo o molhamento e a adesão de sujidades na superfície (Teisala *et al.*, 2012). A liberação de gotículas de água e a coleta de contaminantes da folha de lótus é apelidado de "efeito de lótus", caracterizando um efeito autolimpante (Li *et al.*, 2007).

Assim, inspirado em diversos sistemas biológicos (folhas de lótus, asas de cigarra e folhas de arroz e outros) as SHS têm sido fabricadas em diferentes materiais incluindo metais, vidro, polímeros, compósitos e micro e nanopartículas, usando diferentes técnicas (ataque químico, eletrofiação, sol-gel, anodização, pulverização de sal, tratamento a plasma ou a laser, litografia, impressão 3D), realizadas em uma única ou em múltiplas etapas, para gerar produtos para aplicação em diversos setores industriais e de pesquisa (Manoharan & Bhattacharya, 2019). A

maior parte dos métodos existentes para alcançar a super-hidrofobicidade envolvem dois passos: a obtenção de certos padrões de micro ou nano rugosidades seguido de tratamento com reagentes de baixa energia superficial. Tanto a rugosidade da superfície e baixa energia superficial contribuem para a transformação de molhamento da hidrofilicidade à super-hidrofobicidade (Zhanga *et al.*, 2020).

Como elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, o alumínio (Al) e suas ligas (AA) são amplamente utilizados como materiais de engenharia devido às suas excelentes propriedades mecânicas, elétricas e térmicas abrangentes. No entanto, uma vez que o alumínio e suas ligas são metais reativos, são suscetíveis a vários tipos de corrosão, incluindo corrosão localizada (pites e intergranular), corrosão atmosférica, corrosão sob tensão, etc., que tendem a ocorrer nesses metais em ambientes altamente corrosivos, como o ambiente marinho, por exemplo. Portanto, estratégias de controle à corrosão são urgentemente necessárias para retardar a severidade da corrosão nestes metais (Zhanga *et al.*, 2020).

Revestimentos super-hidrofóbicos em ligas de alumínio podem ser fabricados utilizando as técnicas mencionadas acima. Algumas delas são simples e de baixo custo, enquanto outras requerem reagentes e equipamentos especiais, levando a um revestimento caro. Dentre as técnicas citadas encontra-se, o ataque químico, que é um método fácil de preparar revestimentos super-hidrofóbicos em substrato de Al. O estado da arte reportado por Varshney *et al.* (2017) cita vários estudos para a fabricação de SHS em Al por diferentes rotas químicas. Tais rotas tendem a envolver operações de diferentes graus de polimento, ataque químico por ácidos (HCl, HNO_3 ou HF), álcalis (NaOH ou KOH), peróxido de hidrogênio ou mesmo água em ebulição, as quais são essenciais para a geração da textura superficial, seguido pela exposição do metal a uma substância de baixa energia de superfície (compostos fluorados, silanos ou ácidos graxos) (Lv *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2015).

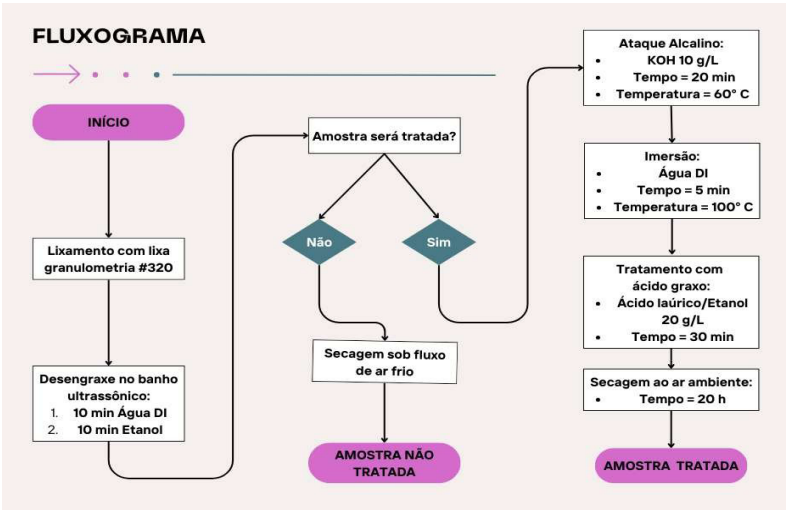
No presente estudo, revestimentos super-hidrofóbicos em superfícies de duas ligas de alumínio foram preparados pela técnica de ataque químico em duas etapas, baseado no método proposto por Varshney *et al.* (2016), usando hidróxido de potássio (KOH) e solução de ácido láurico. A caracterização das SHS incluiu medida de ângulo de contato, análise morfológica, avaliação da capacidade de autolimpeza e comportamento à corrosão em meio salino.

Experimental

Foram empregados como substratos chapas de ligas de alumínio AA7475 T651 e AA5052 H38, gentilmente cedidas pelas empresas Embraer S.A. e Marcopolo S.A., respectivamente. A liga de alumínio 5052 contém magnésio (2,2 – 2,8% em massa) como principal elemento de liga e é usada na fabricação de carrocerias de ônibus e furgões, pode ser endurecida por trabalho a frio e não é tratável termicamente para maior resistência. A AA7475 contém zinco (5,2 – 6,2% em massa) como principal elemento de liga, é comumente usada com fins estruturais em asas e fuselagem de aeronaves e é termicamente tratada para aumentar a resistência mecânica.

O tratamento de superfície usado neste estudo foi baseado no método Varshney et a. (2016), utilizando um processo químico de duas etapas que emprega o uso de uma solução diluída de KOH e água fervente, para produzir uma superfície com micro/nano rugosidades, e subsequente imersão em uma solução com ácido láurico a fim reduzir a energia livre de superfície. Todos os reagentes empregados no estudo foram de pureza analítica. A Figura 1 mostra a sequência de etapas e as condições experimentais empregadas.

Figura 1 – Fluxograma do processo experimental



Ângulos de contato estático foram medidos em um sistema *homemade* usando uma gota de água de volume 5 µL. As imagens foram captadas com um microscópio digital (Marca Vedo modelo VD3035), e

medidas com o *software Measurement*. Os valores relatados referem-se à média de seis medições em três diferentes locais da superfície realizadas em temperatura ambiente.

A morfologia da superfície das amostras foi caracterizada usando microscópio eletrônico de varredura de emissão de campo eletrônico (ZEISS EVO/MA10) do Centro de Microscopia e Microanálise da UFRGS.

A capacidade de autolimpeza das superfícies tratadas foi investigada espalhando negro de fumo sobre as amostras. Para comparação, amostras não tratadas também foram testadas. As amostras foram cuidadosamente posicionadas sobre a água para que flutuassem e uma pequena quantidade de negro de fumo foi colocada sobre elas. Após forçar a submersão e subsequente remoção das amostras as superfícies foram avaliadas visualmente.

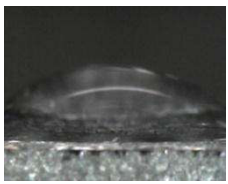
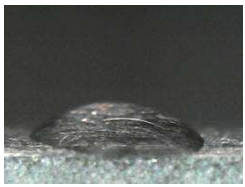
O ensaio de corrosão eletroquímica foi realizado utilizando um potenciostato (Metrohm µStat-i 400s) com uma solução de NaCl 3,5% (m/v) e configuração padrão de célula de três eletrodos. A amostra de teste foi usada como eletrodo de trabalho, enquanto um fio de platina foi usado como contra eletrodo (CE) e prata saturado com cloreto de prata (Ag/AgCl) como eletrodo de referência. As curvas polarização pontenciodinâmicas foram obtidas em temperatura ambiente, na faixa de potenciais de -1,8 V a 0 V, com varredura de 0,01 V/s.

Resultados e discussão

Medidas do ângulo de contato estático foram realizadas para verificar a hidrofobicidade das amostras, caracterizada por um ângulo de contato maior do que 150º. O ângulo de contato médio obtido para as amostras AA7475 foi 147,0º±4,8º, enquanto o ângulo de contato médio das amostras AA5052 foi 142,0°±6,0º. Considerando o erro nas medidas pode-se inferir que o tratamento efetuado proporcionou a obtenção de SHS. As amostras não tratadas tiveram um ângulo de contato médio inferior a 33°, o que caracteriza hidrofilicidade. O Quadro 1 apresenta as diferenças observadas entre as superfícies tratadas e não tratadas. Após vinte dias de exposição no ambiente do laboratório, as amostras AA7475 e AA5052 apresentaram ângulos de contato de 138,7°±2,1º e de 139,3°±1,9º, respectivamente. Isso mostra uma redução do grau de hidrofobicidade por exposição ao ar ambiente por períodos prolongados, o que pode comprometer o uso e vida útil destes materiais. Além

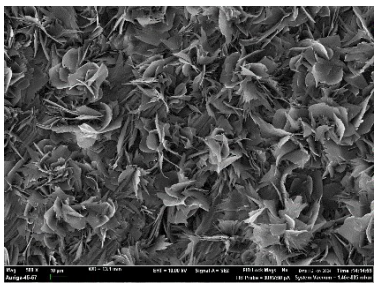
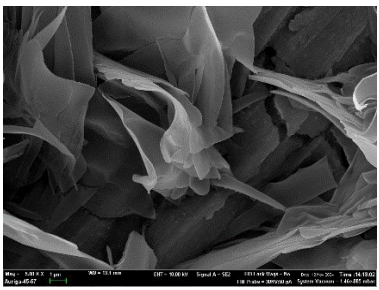
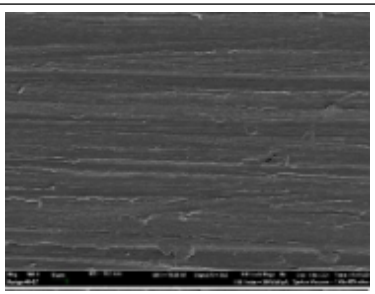
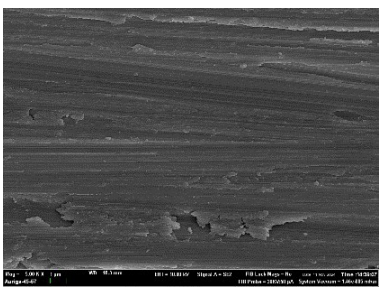
disso, verificou-se que os revestimentos eram pouco resistentes à ação mecânica, podendo ser danificados por manuseio inadequado.

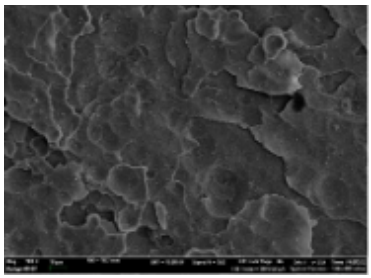
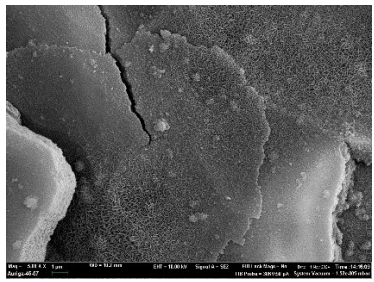
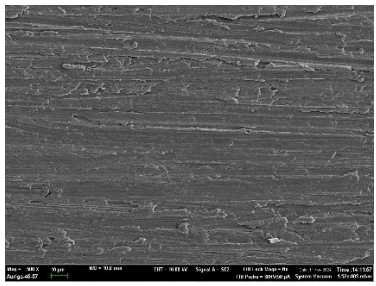
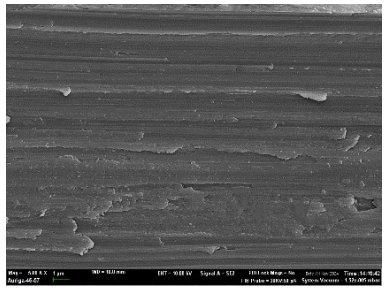
Quadro 1 – Imagens das gotas de água e valores medidos para o ângulo de contato nas superfícies das ligas de alumínio tratadas e não tratadas

Liga	**AA7475**		**AA5052**	
	Tratada	**Não tratada**	**Tratada**	**Não tratada**
Gota de água e respectivo ângulo de contato	 θ = 147,0º ± 4,8º	 θ < 33º	 θ = 142,0°± 6,0º	 θ < 33º

O efeito do tratamento na morfologia da superfície foi avaliado por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (FESEM) e mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Imagens de FESEM da superfície das ligas de alumínio tratadas e não tratadas

Liga	**Condição**	**Magnitude**	
		500X	**5000X**
AA7475	**Tratada**		
	Não tratada		

AA5052	**Tratada**		
	Não tratada		

Comparado com as amostras não tratadas observa-se claramente o aumento da rugosidade da superfície, demonstrando uma morfologia predominantemente na forma de nano-lamelas curvadas semelhantes a "escamas" sobrepostas na AA7475, e na forma de placas sobrepostas na liga AA5052. Em ambas as ligas uma microestrutura mista é observada em maiores magnitudes, formando uma complexa micro/nano estrutura muito rugosa e de morfologia irregular. As variações morfológicas observadas nas diferentes ligas são consequências das diferenças composicionais e microestruturais delas, sem, contudo, ocasionar variações significativas no ângulo de contato. Erbil (2020) enfatiza que, uma vez que texturas mistas em nanoescala estão presentes em materiais super-hidrofóbicos, forças mecânicas podem facilmente destruir a textura da superfície e levar à perda local das propriedades da super-hidrofobicidade. Isso justifica a facilidade com que estas superfícies podem ser mecanicamente danificadas.

O ensaio para avaliar a autolimpeza realizado com negro de fumo é ilustrado no Quadro 3. As amostras tratadas apresentaram propriedades autolimpantes, ou seja, não exibiram sujidades e retenção de água na superfície ao serem removidas, diferentemente das amostras não tratadas.

O resultado do ensaio de polarização potenciodinâmica, realizado para avaliar o efeito de proteção à corrosão proporcionado pelo tratamento efetuado nas ligas de alumínio em solução de NaCl 3,5%(m/v), é

mostrado na Figura 2. Para ambas as ligas tratadas foi observado redução nos valores de densidade de corrente em duas ordens de magnitude, restringindo significativamente as reações anódicas e catódicas, ou seja, reduzindo a cinética do processo corrosivo. Em relação às amostras sem tratamento houve elevação do potencial de corrosão (E_{corr}) em cerca de 500 mV. O deslocamento do E_{corr} para valores mais anódicos e a redução nos valores de densidade de corrente é o comportamento esperado quando se obtém um revestimento super-hidrofóbico. Segundo Farag *et al.* (2022), os mecanismos de prevenção à corrosão para estes revestimentos não estão apenas relacionados à sua propriedade de repelência à água, mas também podem ser explicados considerando que ocorre a minimização a área de contato direto entre o meio corrosivos e a superfície metálica devido à presença de bolsões de ar aprisionado dentro das estruturas hierárquicas criadas nas superfícies rugosas.

Quadro 3 – Imagens obtidas durante o ensaio de autolimpeza e flutuabilidade com negro de fumo realizados com as ligas de alumínio tratadas e não tratadas

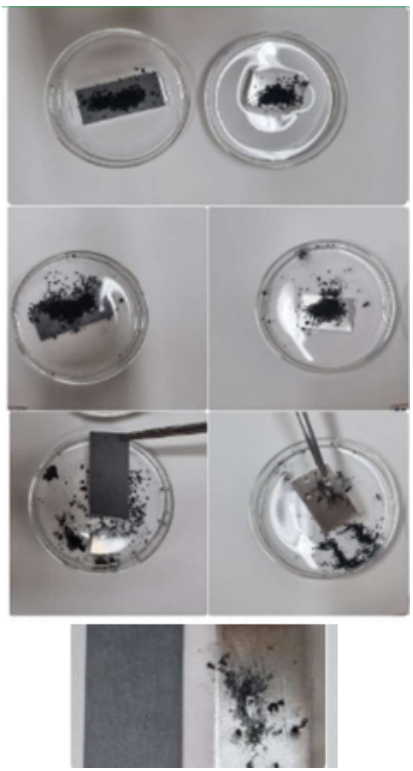
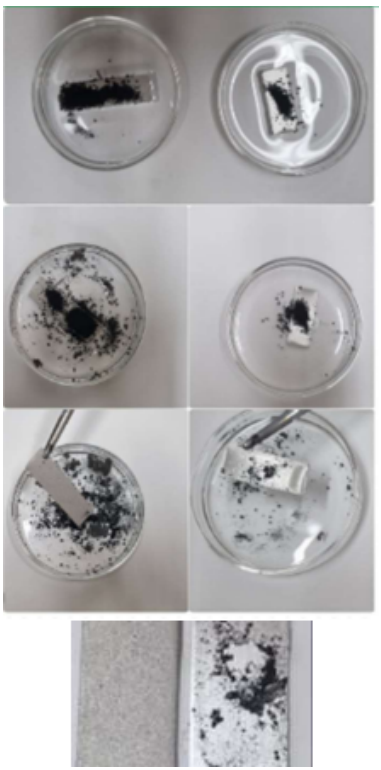
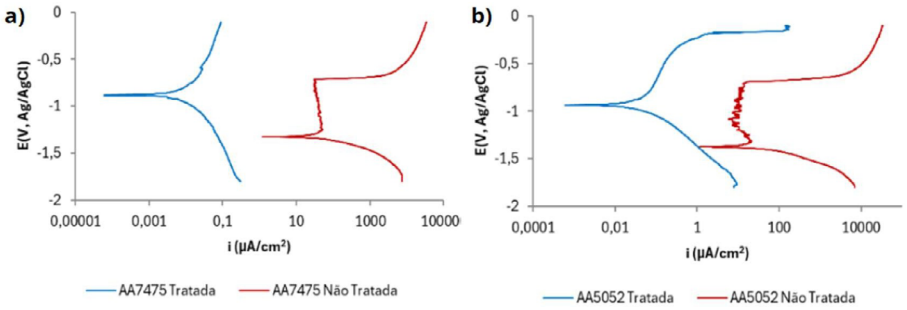
AA7475			AA5052	
Tratada	**Não tratada**		**Tratada**	**Não tratada**
		**Flutuação** **Submersão** **Remoção** **Aspecto final**		

Figura 2 – Curvas de polarização potenciodinâmicas em NaCl 3,5%:(a) AA7475 e (b) AA5052.



Conclusão

A composição e a microestrutura das ligas de alumínio afetam de forma significativa a resposta ao tratamento selecionado para fabricar SHS nestas ligas. Este efeito já ficou evidente pelo aspecto macroscópico da superfície após o tratamento, além das demais características morfológicas diferenciadas constatadas na microscopia eletrônica. O tratamento efetuado produziu superfícies de rugosidade hierárquica e proporcionou a obtenção de ângulos de contato muito próximos a 150º, o que caracteriza uma SHS. Os revestimentos obtidos também apresentaram capacidade de autolimpeza e elevada resistência à corrosão em meio contendo NaCl.

Processos mitigatórios à corrosão dos metais são de importância significativa para a preservação ambiental, para o desenvolvimento econômico e para a segurança e bem-estar da população. As pesquisas futuras devem priorizar materiais ecologicamente corretos e econômicos, rotas de fabricação racionais e métodos otimizados para uma produção fácil, em grande escala e de baixo custo. A obtenção de SHS para proteção contra corrosão metálica surge como uma estratégia eficaz para combater a corrosão metálica em ambientes agressivos, evitando eficientemente a adesão de poluentes e a corrosão das ligas metálicas. Apesar dos avanços significativos alcançados nas estratégias biomiméticas para a prevenção da corrosão, ainda persistem desafios como a viabilidade para aplicação em grande escala, sua durabilidade e a resistência mecânica.

Referências

AHMAD, Z.; PATEL, F. "*Development of novel corrosion techniques for a green environment*. I**nternational Journal of Corrosion**. v. 2012, ID 982972, p.1-8, 2012.

ERBIL, H.Y. "*Industrial Applications of Superhydrophobic Coatings: Challenges and Prospects".* **Hacettepe Journal of Biology and Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 447-457, 2020.

FARAG, A.A., MOHAMED, E.A.; TOGHAN, A. The new trends in corrosion control using superhydrophobic surfaces: a review. **Corrosion Reviews**, p. 1-17, 2022.

LI, X-M.; REINHOUDT, D.; CREGO-CALAMA, M. "What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recente progress in the preparation of superhydrophobic surfaces". **Chemical Society Reviews**, v.36, p. 1350-1368, 2007.

LV, D.; OU, J.; XUE, M.; WANG, F. “Stability and corrosion resistance of superhydrophobic surface on oxidized aluminum in NaCl aqueous solution”. **Applied Surface Science**, v. 333, p. 163-169, 2015.

MANOHARAN, K.; BHATTACHARYA, S. “Superhydrophobic surfaces review: Functional application, fabrication techniques and limitations”. **Journal of Micromanufacturing**, v.2, n. 1, p. 59-78, 2019.

MILLER, R.H.; HU, S.; WEAMIE, S.J.Y.; NAAME, S.A.; KIAZOU, D.G. “*Superhydrophobic Coating Fabrication for Metal Protection Based on Electrodeposition Application: A Review.* **Journal of Materials Science and Chemical Engineering**, v. 9, p. 68-104, 2021.

TEISALA, H.; TUOMINEN, M.; AROMAA, M.; STEPIEN, S.; MAKELA, I.M.; SAARINEN, J.J.; TOIVAKKA, M.; KUUSIPALO, J. “*Nanostructures increase water droplet adhesion on hierarchically rough superhydrophobic surfaces”*. **Langmuir**, v. 28, p. 3138-3145, 2012.

VARSHNEY, P.; MOHAPATRA, S.S.; KUMAR, A. “*Superhydrophobic coatings for aluminium surfaces synthesized by chemical etching process”*. **International Journal of Smart and Nano Materials**, v. 7, n. 4, p. 248-264, 2016.

VARSHNEY, P.; MOHAPATRA, S.S.; KUMAR, A. “Fabrication of mechanically stable superhydrophobic aluminium surface with excellent self-cleaning and anti-fogging properties”. **Biomimetics**, v. 2, n. 2, 2017.

ZHANGA, B.; WANGA, J.; ZHANGA, J. “Bioinspired one step hydrothermal fabricated superhydrophobic aluminum alloy with favorable corrosion resistance. **Colloids and Surfaces A**, v. 589, n. 124469, p. 1-8, 2020.

WU, R.; CHAO, G.; JIANG, H.; HU, Y.; PAN, A. “*The superhydrophobic aluminum surface prepared by different methods”*. **Materials Letters**, v. 142, p. 176-179, 2015.

Desenvolvimento de Materiais Gráficos como Estratégia de Mobilização Social na Elaboração de Planos Municipais

João Lucas Ferronato[1], Denise Peresin[2] , Tiago Panizzon[3] e Juliano Rodrigues Gimenez[4]
[1,2,3,4]*Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul*
[1]*jlferronato@ucs.br;* [2]*dperesin@ucs.br;* [3]*tpanizzo@ucs.br;* [4]*jrgimene@ucs.br*

Resumo: Este estudo explora a relação entre design gráfico e comunicação visual em campanhas ambientais, centrando-se nos projetos do Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM). A análise foca em materiais gráficos criados para o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e os Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA), destacando como estratégias publicitárias e princípios de design gráfico podem incrementar o envolvimento do público. A metodologia compara peças gráficas antigas com novos modelos aprimorados, levando em conta aspectos como hierarquia visual, tipografia, harmonia cromática e adaptação para plataformas digitais. Os resultados mostram que a reformulação dos materiais tornou a comunicação mais clara, acessível e impactante, contribuindo para uma melhor compreensão das iniciativas ambientais pelo público. A pesquisa sublinha a importância do design gráfico como uma ferramenta estratégica na comunicação ambiental, evidenciando seu papel essencial na conscientização e participação cidadã. Nesse contexto, o trabalho também se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente os ODS 11, 13 e 15, ao fortalecer ações de comunicação que promovem cidades sustentáveis, enfrentamento às mudanças climáticas e a preservação dos ecossistemas terrestres.

Palavras-chave: Comunicação visual, participação popular, design.

Development of Graphic Materials as a Social Mobilization Strategy in the Creation of Municipal Plans

Abstract: This study explores the relationship between graphic design and visual communication in environmental campaigns, focusing on projects developed by the Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM). The analysis centers on graphic materials created for the Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) and the Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA), highlighting how advertising strategies and graphic design principles

can enhance public engagement. The methodology involves comparing older graphic pieces with improved new models, considering aspects such as visual hierarchy, typography, color harmony, and adaptation for digital platforms. The results show that the redesign of the materials made communication clearer, more accessible, and impactful, contributing to a better public understanding of environmental initiatives. The research emphasizes the importance of graphic design as a strategic tool in environmental communication, underscoring its essential role in raising awareness and fostering civic participation. In this context, the work also aligns with the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDGs 11, 13, and 15, by strengthening communication actions that promote sustainable cities, address climate change, and preserve terrestrial ecosystems.

Keywords: Visual communication, public participation, design.

Introdução

A mobilização social é fundamental para garantir a participação ativa da sociedade na criação e implementação de políticas públicas. Nesse cenário, a comunicação visual é essencial para a transmissão clara e acessível de informações. A publicidade, por sua vez, busca influenciar e persuadir diferentes públicos através de estratégias comunicacionais bem elaboradas. Nos planos de mobilização que envolvem a temática ambiental, a identidade visual e os recursos publicitários empregados no design gráfico são determinantes para o sucesso de um projeto.

De acordo com Henriques, Braga e Mafra (2007), um dos desafios associados à solução de diversos problemas sociais encontra-se na comunicação, buscando o envolvimento de ações democráticas e inclusivas. Os autores salientam ainda a importância dos movimentos sociais e da implementação de mobilizações na sociedade civil, buscando uma co-responsabilidade entre todos os públicos envolvidos.

O design gráfico, conforme definido pela AIGA (American Institute of Graphic Arts), é "uma atividade intelectual, técnica e criativa, preocupada não apenas em construir imagens, mas também com a análise, organização e métodos de apresentação de soluções visuais para problemas de comunicação. Informação e comunicação são a base da vida interdependente mundo afora, seja na esfera de negócios, cultural ou social." Essa definição reforça a importância do design como ferramenta estratégica para estruturar campanhas visuais eficazes, garantindo que a mensagem alcance o público de forma clara e impactante. Um design eficiente deve atrair a atenção do público-alvo, reforçar a mensagem e facilitar a compreensão das informações apresentadas.

O desenvolvimento de materiais gráficos e campanhas de comunicação na esfera ambiental tem se mostrado uma estratégia eficaz para engajar diversos atores sociais, promovendo não apenas o entendimento e a colaboração em projetos sustentáveis, mas também a educação dos mesmos, ampliando a conscientização da população sobre estas questões. Essa forma de mobilização, além de promover mudanças sociais significativas, está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Em especial, destaca-se a conexão com os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e 15 (Vida Terrestre), que norteiam iniciativas globais voltadas para a criação de centros urbanos mais sustentáveis, a redução dos impactos das mudanças climáticas e a preservação de ecossistemas essenciais, como a Mata Atlântica.

Educar é muito mais do que a mera transmissão de conhecimentos, mas a socialização em diferentes espaços, nos mais diversos contextos, considerando-se a cultura e as especificidades de cada grupo social. A educação pode ser entendida como o conjunto de ações, processos, influências, estruturas, que intervêm no desenvolvimento humano de indivíduos e grupos na sua relação ativa com o meio natural e social, num determinado contexto de relações entre grupos e classes sociais. (LIBÂNEO *et al.*, 2007). Essa perspectiva amplia o conceito de mobilização social, pois envolve a participação e a transformação de realidades sociais a partir de um processo educativo e cultural.

O Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM/UCS) desenvolve diversas iniciativas voltadas à pesquisa, monitoramento e gestão ambiental. Entre suas principais ações, destacam-se o monitoramento de recursos hídricos, estudos climáticos, planejamento ambiental e assessoria para implementação de políticas sustentáveis.

Para que uma campanha de mobilização tenha impacto significativo, é necessário alinhar as técnicas publicitárias com o design gráfico, criando materiais que despertem interesse e promovam a adesão ao movimento. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é de apresentar a adequação de métodos do marketing ao design gráfico nos projetos do Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM/UCS), destacando como a aplicação estratégica de elementos visuais e comunicacionais pode potencializar a mobilização social em

iniciativas ambientais. A análise aborda a criação e desenvolvimento de materiais gráficos voltados para campanhas de engajamento, evidenciando como o uso integrado dessas ferramentas podem contribuir para a eficácia das ações e a ampliação da participação popular em questões ambientais.

Metodologia

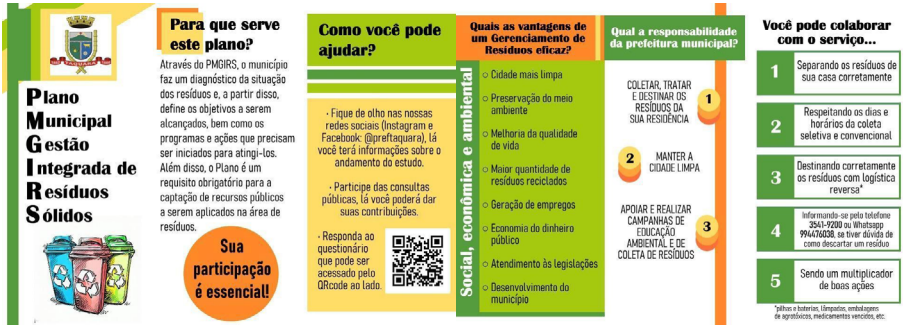
A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na análise de materiais gráficos utilizados em campanhas de mobilização social, com ênfase nos trabalhos desenvolvidos pelo Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM/UCS), traçando um comparativo entre os modelos de design criados para auxiliar na mobilização social do PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, antes da aplicação de diretrizes aprimoradas de design gráfico, e os novos modelos elaborados para os Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, a serem desenvolvidos para municípios do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. A análise considera princípios do design gráfico, hierarquia visual, contraste adequado, tipografia e harmonia cromática, evidenciando como a reformulação dos materiais pode potencializar o impacto comunicacional das campanhas ambientais.

A seguir propõem-se a reestruturação desses elementos com base em técnicas publicitárias e estratégias visuais eficientes, visando otimizar a comunicação e ampliar o engajamento do público. A aplicação desses recursos pode elevar significativamente a qualidade do material gráfico, tornando a informação mais acessível, atrativa e impactante, favorecendo a adesão da sociedade aos projetos ambientais promovidos pelo instituto.

Resultados e discussão

A Figura 1 ilustra exemplos de peças visuais do PMGIRS elaboradas sem a aplicação das estratégias gráficas.

Figura 1 – Modelo Gráfico (Mobilização Social) Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (folder – frente e verso)



Fonte: ISAM (2023).

A partir da análise inicial das peças do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos apresentadas na Figura 1, identificou-se a necessidade de aprimoramentos estratégicos no design gráfico para garantir maior clareza, impacto visual e acessibilidade da mensagem. As principais deficiências observadas incluíram a falta de hierarquia tipográfica, contraste inadequado, ausência de identidade visual padronizada e disposição confusa dos elementos gráficos. Como destaca Fonseca (2020), "os dois princípios fundamentais do bom design tipográfico são a clareza e a legibilidade. Independentemente do significado do conteúdo, do conceito estético, da complexidade do estilo, da atualidade da moda ou da concepção criativa, a informação do texto deve ser transmitida de forma clara, legível e inequívoca". A ausência de uma estrutura visual organizada compromete a leitura e o engajamento do público, tornando essencial a aplicação de técnicas que favoreçam a comunicação efetiva.

Para solucionar essas questões nos novos modelos dos Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, foram implementadas alterações focadas na harmonia entre cores e texto, buscando um equilíbrio visual que tornasse o material mais atraente e de fácil compreensão. O design é, antes de tudo, um transmissor de valor, e por isso, se faz necessário o respeito pelos valores do consumidor (LEITE, 2003). Com base nesse princípio, os planos foram personalizados para cada município, garantindo que o material gráfico refletisse uma identidade única e representativa, fortalecendo o vínculo com a comunidade local. As imagens e logotipos incluídos foram estrategicamente selecionados para representar cada município, incorporando a

logomarca municipal, a do instituto e imagens de pontos característicos da região, fortalecendo a identidade local e aumentando o impacto visual das campanhas. Essa abordagem permitiu alinhar a comunicação visual com as particularidades de cada região, tornando as campanhas mais eficientes e contextualizadas, como apontado na Figura 2.

Figura 2 – Modelo Gráfico Folder (Mobilização Social) Plano de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (folder – frente e verso)



Fonte: ISAM (2025).

A escolha das cores nos materiais gráficos seguiu a identidade visual dos municípios, garantindo coerência e reconhecimento. A tipografia foi selecionada com base na melhor adaptação ao modelo gráfico criado, priorizando legibilidade e adequação ao contexto das campanhas ambientais. Os elementos gráficos, como ícones, foram pensados para reforçar a conexão com o meio ambiente, utilizando formas orgânicas e símbolos que remetem à natureza, como os padrões geométricos inspirados em ecossistemas.

De acordo com Fonseca (2020), “há alguns princípios e regras fundamentais na concepção da composição visual gráfica. Para começar, temos hábitos e costumes para ver e para ler que precisam ser considerados e respeitados”. Seguindo essa perspectiva, a reorganização dos

elementos visuais das campanhas foi pensada para facilitar a leitura e promover maior retenção da informação.

Além disso, conforme o autor, "a tendência do olho é ser atraído pela matéria maior e dominante na página, ou seja, o foco principal de atenção. A seguir, ele vai pular para o segundo foco em importância, depois para o terceiro, e assim por diante". A partir desse princípio, foram definidas hierarquias visuais nos materiais gráficos, guiando o olhar do espectador de forma estratégica e garantindo que as informações mais relevantes fossem assimiladas de maneira intuitiva.

Para cada novo plano vinculado a um projeto de Plano de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, foram desenvolvidas cinco artes gráficas únicas, buscando ampliar o impacto da comunicação visual e adaptar a mensagem a diferentes públicos e plataformas. Essas artes foram estrategicamente projetadas para atender às necessidades específicas de divulgação e engajamento, aproveitando as redes sociais como meio de disseminação da campanha.

Cada peça gráfica foi organizada em cinco categorias principais, representando diferentes etapas do projeto e suas estratégias de mobilização:

- Cartaz – Desenvolvido para veiculação em espaços públicos, destacando informações essenciais sobre o plano e incentivando a participação da comunidade.
- Post para redes sociais – Adaptado para formatos digitais, garantindo melhor visibilidade e engajamento em plataformas como Instagram e Facebook.
- Cartaz para Divulgação Geral – Com linguagem acessível e atrativa, essa peça visa alcançar um público mais amplo e diverso, reforçando a conscientização ambiental.
- Folder – Estruturado para fornecer informações detalhadas sobre o projeto, com um design que facilita a leitura e compreensão dos objetivos e etapas da iniciativa.
- Cartaz com QR Code – Incorporando tecnologia interativa, essa peça permite acesso rápido a informações complementares e interativas sobre o projeto (Figura 3). Essa funcionalidade facilita o direcionamento do público para uma plataforma digital com

pesquisas vinculadas à mobilização, possibilitando uma coleta de dados mais eficiente sobre a percepção social.

Figura 3 – Modelo Gráfico Cartaz com QR Code (Mobilização Social) Plano de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica



Fonte: ISAM (2025).

A elaboração dessas cinco peças sublinha o papel crucial do design gráfico como uma ferramenta estratégica para expandir o alcance das iniciativas de mobilização social. A adaptação do conteúdo para redes sociais e diferentes formatos de comunicação permite uma abordagem mais dinâmica e acessível, assegurando que a mensagem seja transmitida de maneira clara e impactante para cada público-alvo envolvido no projeto.

Conclusão

A reformulação dos materiais gráficos voltados à mobilização social demonstrou a importância do design como ferramenta estratégica na comunicação ambiental. Como ressalta Kotler (2000), o design é: “uma força de integração entre todas as ferramentas de uma empresa e deve trabalhar próximo, principalmente do marketing e da engenharia,

além de estar em contato com os clientes e a tecnologia". A análise comparativa entre os modelos gráficos anteriores e os materiais reestruturados evidenciou que a aplicação adequada dos princípios de design gráfico e de suas estratégias possibilitam potencialização significativa, maior engajamento do público e a eficácia das campanhas. Elementos como hierarquia visual, harmonia cromática e personalização regional não apenas tornam a mensagem mais acessível e atrativa, mas também reforçam a identidade dos projetos, fortalecendo sua conexão com as comunidades envolvidas.

Além disso, a diversificação dos formatos gráficos e a incorporação de tecnologias interativas, como QR codes, permitem que o alcance das campanhas seja ampliado, permitindo um diálogo mais dinâmico e participativo entre os cidadãos e as iniciativas ambientais. Nesse sentido, Piccoli *et al.* (2018) destacam que a participação coletiva é um elemento essencial para a eficácia das estratégias de gestão ambiental, pois possibilita um envolvimento mais ativo da sociedade e amplia a legitimidade das ações propostas. Dessa forma, a comunicação visual bem planejada não é apenas um recurso estético, mas um componente essencial para a mobilização social e a conscientização coletiva.

Em resumo, a integração de materiais gráficos na elaboração de planos ambientais é uma estratégia eficaz para promover a mobilização social e a participação pública, garantindo uma compreensão clara e inclusiva, além de incentivar a contribuição significativa de todos os cidadãos na construção de um futuro ambientalmente sustentável.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pelo suporte acadêmico e institucional e ao PIBIC-CNPq pelo financiamento e incentivo à pesquisa.

Referências

AMERICAN INSTITUTE OF GRAPHIC ARTS/NY – AIGA. ANNUAL DESIGN COMPETITIONS, 30., 1998, São Paulo. **Anais…** São Paulo: Edusp, 1998.

FONSECA, Joaquim da. **Tipografia & design gráfico**: design e produção gráfica de impressos e livros. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HENRIQUES, Márcio Simeone; BRAGA, Clara Soares; MAFRA, Rennan Lanna Martins. Planejamento da comunicação para a mobilização social: em busca da co-responsabilidade. 2ª. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2007.

KOTLER, Philip. **Administração de Marketing**. 1 O ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.

LEITE, Ricardo de S. Ver é Compreender – Design como ferramenta estratégica de marketing. Rio de Janeiro: SENAC, 2003.

LIBÂNEO, José Carlos. **Pedagogia e pedagogos, para quê?** 8. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

PICCOLI, Andrezza de Souza; KLIGERMAN, Débora Cynamon; COHEN, Simone Cynamon;

ASSUMPÇÃO, Rafaela Facchetti. A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. *Ciência & Saúde Coletiva* [online], v. XX, n. XX, fev. 2018.

Educação Ambiental e Segurança Hídrica: Lições e Desafios na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá/SC

Sabrina Baesso Cadorin[1], Simoni Daminelli Vieira[2], Ana Paula de Matos[3], Carlyle Torres Bezerra de Menezes[4] José Carlos Virtuoso[5]
[1]ProFor Águas/UNESC (sabrinabaessocadorin@gmail.com)
[2]UNESC/ProFor Águas (simoni.daminelli@unesc.net)
[3]UNESC/ProFor Águas (mattos@unesc.net)
[4]UNESC /ProFor Águas(cbm@unesc.net)
[5]UNESC/ProFor Águas (jcv@unesc.net)

Resumo: No âmbito do ProFor Águas UNESC, em parceria com comitês de bacias hidrográficas, diversas atividades voltadas para a Educação Ambiental foram desenvolvidas no extremo sul catarinense nos anos de 2023 e 2024. Este artigo tem como objetivo apresentar e analisar duas experiências de educação ambiental voltadas para a segurança hídrica, desenvolvidas na Bacia do Rio Araranguá entre 2023 e 2024, destacando suas metodologias, resultados e contribuições para a gestão participativa da água. A primeira experiencia se trata do Projeto de Educação Ambiental e Segurança Hídrica, voltado para a sensibilização de crianças, adolescentes e professores da rede pública estadual e municipal na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá. Este projeto promoveu a conscientização sobre o uso sustentável da água por meio de oficinas interativas e lúdicas, abordando temas como o ciclo hidrológico, consumo consciente e impactos ambientais. No total, 444 estudantes e 24 professores participaram das atividades. Já em 2024, foi implementado o Projeto Clima Água, uma iniciativa piloto focada na formação de professores da rede estadual de ensino em parceria com a Coordenadoria Regional de Educação (CRE) de Araranguá. Ofertado no formato de curso de extensão pela UNESC, o programa incluiu encontros presenciais e atividades remotas, totalizando 40 horas de formação. Durante o curso, os docentes desenvolveram projetos interdisciplinares para suas escolas, e os melhores trabalhos foram apresentados em uma Feira Regional promovida pela CRE. As iniciativas vêm gerando impactos positivos na Educação Ambiental da região, fortalecendo a integração entre universidade, comitês de bacia e sociedade civil. Desde modo o programa busca expandir suas atividades, consolidando-se como uma referência na gestão participativa dos recursos hídricos e na formação de cidadãos mais conscientes e engajados na conservação ambiental

Palavras-chave: Gestão da Água, Educação, Formação.

Environmental Education and Water Security: Lessons and Challenges in the Araranguá River Basin/SC

Abstract: Within the scope of the ProFor Águas UNESC program, in partnership with river basin committees, several environmental education activities were carried out in the extreme south of Santa Catarina in 2023 and 2024. This article aims to present and analyze two environmental education experiences focused on water security, developed in the Araranguá River Basin between 2023 and 2024, highlighting their methodologies, results, and contributions to participatory water management. The first experience is the Environmental Education and Water Security Project, aimed at raising awareness among children, adolescents, and teachers from public state and municipal schools in the Araranguá River Basin. This project promoted awareness about the sustainable use of water through interactive and playful workshops, addressing topics such as the hydrological cycle, conscious consumption, and environmental impacts. In total, 444 students and 24 teachers participated in the activities. In 2024, the Clima Água Project was implemented–a pilot initiative focused on training teachers from the state education network in partnership with the Regional Education Coordination Office (CRE) of Araranguá. Offered as an extension course by UNESC, the program included in-person meetings and remote activities, totaling 40 hours of training. During the course, teachers developed interdisciplinary projects for their schools, and the best works were presented at a Regional Fair promoted by the CRE. These initiatives have been generating positive impacts on environmental education in the region, strengthening the integration between the university, basin committees, and civil society. In this way, the program seeks to expand its activities, establishing itself as a reference in the participatory management of water resources and in the formation of more conscious and engaged citizens in environmental conservation.

Key words: Water Management, Education, Training

Introdução

A Educação Ambiental desempenha um papel fundamental na formação cidadã, especialmente entre crianças e adolescentes, contribuindo para a construção de uma sociedade mais consciente e sustentável. Diante desse contexto, Projetos de Educação Ambiental foram elaborados e implementados nas redes escolares municipal e estadual no território da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, sul de Santa Catarina, pela equipe técnica do ProFor Águas UNESC em parceria com o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá e Afluentes Catarinenses do Rio Mampituba. As ações tiveram como intuito levar ao ambiente escolar um projeto de curto prazo voltado para a sensibilização ambiental, adotando uma abordagem interdisciplinar, dialógica e

sistêmica. Assim, dois projetos foram implementados nos anos de 2023 e 2024 respectivamente, um desenvolvido diretamente para sensibilização de crianças e adolescentes e outro voltado para a qualificação de professores com o objetivo principal de formar multiplicadores.

Em face dos desafios ambientais crescentes, torna-se imprescindível aprimorar os processos e programas de educação ambiental, adotando uma abordagem mais crítica e contextualizada. Para tanto, é essencial criar alternativas sustentáveis que substituam o modelo vigente, cuja insustentabilidade é evidente. Nesse sentido, a sensibilização ambiental através da EA se destaca como uma estratégia fundamental para impulsionar mudanças de comportamento e fortalecer a conservação dos recursos hídricos.

Nesse contexto, Loureiro e Gomes (2011) ressaltam a importância de uma abordagem integral na educação ambiental, argumentando que ela não deve se limitar a recomendações genéricas sobre a redução do desperdício, como se o uso da água em uma bacia hidrográfica fosse uniforme. Pelo contrário, é fundamental identificar os diferentes usos da água na região e incentivar o diálogo entre os usuários, possibilitando a compreensão e a discussão dos diversos desafios enfrentados. Dessa forma, a educação ambiental pode contribuir de maneira mais eficaz para a gestão sustentável da água (Loureiro; Gomes, 2011).

Sob a óptica da governança ambiental, Latour (2004) propõe uma abordagem democrática para a tomada de decisões, ressaltando a importância da participação da sociedade na construção de políticas públicas mais inclusivas e eficazes. Considerando a complexidade dos desafios ambientais, como a gestão da água, a diversidade de perspectivas se torna essencial para garantir soluções mais justas e sustentáveis. Dessa forma, a participação ativa da sociedade civil nos debates e processos decisórios relacionados à gestão da água é fundamental, contribuindo para resolução de conflitos, promovendo o equilíbrio ambiental local e fortalecendo a governança, assegurando a participação ativa e a efetivação da gestão compartilhada.

No horizonte da governança ambiental e da sustentabilidade, a educação ambiental desempenha um papel fundamental na gestão da água. No entanto, para que se torne eficaz, é essencial adotar uma abordagem crítica que una a administração sustentável da água à conscientização social. Isso implica não apenas no entendimento das questões hídricas, mas também na promoção da participação cidadã nos processos de

tomada de decisão. Dessa forma, a educação ambiental se torna um instrumento essencial para o desenvolvimento de uma sociedade mais engajada e responsável na preservação e no uso consciente dos bens naturais (Ruiz *et al*., 2005).

Sob essa óptica, a EA se revela um instrumento indispensável para não apenas sensibilizar, mas também formar as gerações futuras a atuarem em prol da sustentabilidade. A educação ambiental desempenha um papel vital no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma vez que contribui para o atendimento das metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) para o enfrentamento dos desafios socioambientais globais, até 2030, especialmente no que se refere à educação de qualidade (ODS 4), à água limpa e saneamento (ODS 6) e à ação contra a mudança global do clima (ODS 13) (ONU BRASIL, 2024). Esses objetivos refletem a necessidade de um engajamento coletivo para enfrentar os desafios socioambientais enfrentados atualmente, especialmente relacionados aos eventos extremos cada vez mais comuns.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo apresentar e analisar duas experiências de educação ambiental. As iniciativas têm foco tanto na sensibilização de estudantes da educação básica quanto na formação continuada de professores da rede pública, buscando contribuir com a consolidação de uma gestão participativa e integrada dos recursos hídricos.

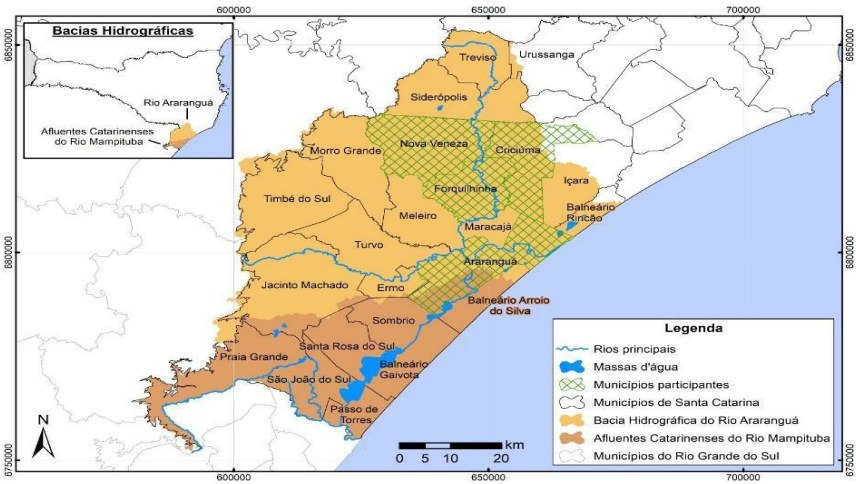
Metodologia

Nesta seção foram organizadas as estratégias e métodos utilizados nos dois projetos: (1) Projeto de Educação Ambiental e Segurança Hídrica (2023) e (2) Projeto Clima Água (2024). Ambos seguiram princípios da Educação Ambiental crítica e contextualizada, buscando a construção coletiva de saberes e a participação ativa dos envolvidos.

O projeto intitulado “Projeto de Educação ambiental e segurança hídrica em escolas municipais e estaduais do sul catarinense” (Projeto 1) foi desenvolvido e implementado no ano de 2023 com o propósito de fomentar reflexões sobre a responsabilidade coletiva e individual no uso e na conservação dos recursos hídricos. Assim, buscou sensibilizar crianças e adolescentes quanto à importância da água para a vida e incentivar práticas sustentáveis no cotidiano. A atuação do projeto se concentrou em quatro municípios pertencentes às sub-bacias dos rios

Mãe Luzia e Araranguá (Figura 1), áreas severamente impactadas por atividades poluidoras, como a mineração de carvão, a agricultura e o descarte inadequado de esgoto sanitário.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá e dos municípios que receberam o projeto em suas escolas.



Fonte: ProFor Águas Unesc, elaboração por Cadorin (2023).

O público-alvo da iniciativa foram estudantes de 8 a 17 anos de escolas municipais e estaduais, que participaram de oficinas interativas e lúdicas. Ao todo, foram constituídas dez turmas e realizadas 26 oficinas. Em função das particularidades do calendário escolar, algumas instituições de ensino solicitaram a condensação das atividades, a fim de viabilizar sua inserção no cronograma letivo. Considerando que o projeto foi executado no segundo semestre do ano, nem todas as escolas dispunham de datas compatíveis para a realização integral das quatro oficinas inicialmente previstas, em razão de compromissos pedagógicos e extracurriculares previamente agendados. Participaram das ações, ao todo, 444 estudantes e 24 docentes das redes públicas estadual e municipal de ensino. Cada turma participou de quatro oficinas, com duração média de 40 a 50 minutos, nas quais foram utilizados materiais de apoio, informativos sobre a bacia hidrográfica e recursos pedagógicos dinâmicos para facilitar a compreensão dos temas. As oficinas abordaram temáticas essenciais para a educação ambiental, incluindo o papel do Comitê de Bacia Hidrográfica, o percurso da água, o consumo consciente e a crise hídrica.

Além disso, textos musicalizados foram adotados como estratégia pedagógica, tornando o aprendizado mais atrativo e participativo (Figura 2). Um dos momentos de maior engajamento dos alunos ocorreu durante a realização do experimento de lixiviação do solo em diferentes tipos de cobertura, que permitiu visualizar de forma prática os impactos da degradação ambiental (Figura 3).

Figura (2 e 3). 2 – Uso da música "Planeta Água" na oficina 1. 3 – Uso de experimento com simulador de erosão na oficina 2.



Fonte: Acervo ProFor Águas Unesc (2023).

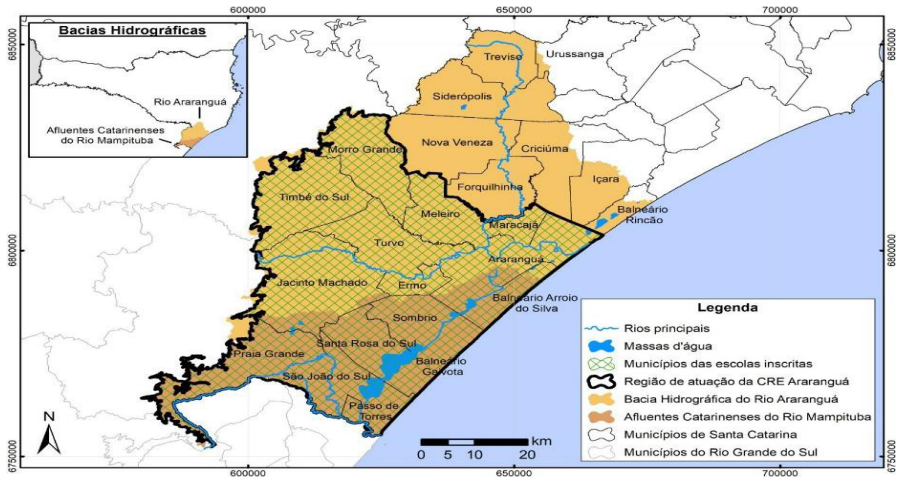
No ano de 2024 foi implementado o "Projeto Clima Água" (Projeto 2), que se tratou de uma iniciativa piloto desenvolvida com o objetivo de testar, adaptar e validar a metodologia proposta. Este projeto buscou aprimorar essa abordagem para que, no futuro, ela possa ser implementada em novas turmas de professores. O processo metodológico adotado foi dinâmico e participativo, permitindo ajustes contínuos, buscando sempre as contribuições dos participantes, ao longo do desenvolvimento da experiência. Dessa forma, o projeto foi construído de maneira colaborativa, garantindo sua efetividade e adequação às necessidades do público-alvo.

Carvalho (2006) enfatiza que o educador ambiental deve desenvolver a capacidade de interpretar o ambiente em que está inserido, analisando as relações socioambientais e identificando os desafios e conflitos existentes. Esse olhar crítico permite a construção de um diagnóstico que orienta a abordagem das questões ambientais de forma mais eficaz.

Nesse contexto, o educador ambiental assume um papel essencial como agente de transformação, facilitando a compreensão dos problemas ambientais e estimulando o engajamento da comunidade escolar.

Sua atuação, fundamentada em uma visão crítica e contextualizada, não apenas sensibiliza os alunos para as questões ambientais, mas também é capaz de desenvolver a capacidade em reconhecer os desafios locais e a propor soluções sustentáveis, alinhadas às características e necessidades específicas da região onde estão inseridos.

Figura 6 – Mapa da região de abrangência do projeto



Fonte: ProFor Águas Unesc, elaborado por Cadorin (2024).

Corroborando com o autor Carvalho (2006), o Projeto Clima Água foi idealizado para professores da rede pública estadual de ensino que atuam sob a supervisão da Coordenadoria Regional de Educação (CRE) de Araranguá (Figura 6), identificando-os como agentes de transformação. A iniciativa buscou promover a formação nas temáticas ambientais desses profissionais por meio de uma abordagem metodológica inovadora e participativa. O curso foi ofertado no formato de extensão e ao final, os participantes receberam certificação emitida pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), garantindo reconhecimento acadêmico e valorização da formação continuada dos docentes. Ao todo 25 vagas foram ofertadas, tendo como única restrição ser apenas um professor por escola da rede, contribuindo assim para que mais escolas fossem contempladas neste primeiro momento.

O formato do projeto incluiu um encontro remoto de abertura com duração de duas horas e quatro oficinas de quatro horas de duração cada, sendo três realizadas presencialmente e uma de forma remota. As atividades presenciais foram realizadas mensalmente no período

vespertino (das 13h às 17h) na sede da CRE. O curso contou com 16 horas de atividades de oficinas, enquanto o restante da carga horária foi composta por atividades remotas e assíncronas, proporcionando flexibilidade na aprendizagem. Os encontros foram organizados em diferentes formatos, incluindo palestras, aulas dialogadas, discussões em grupo, compartilhamento de experiências em EA, oficinas, apresentação de experiências em EA e desenvolvimento de projetos, promovendo uma abordagem interativa e colaborativa para a formação dos participantes.

Nas atividades foram incluídas leituras direcionadas, videoaulas, materiais de apoio, vídeos com experiências e práticas em Educação Ambiental, além do desenvolvimento de um projeto prático implementado em sala de aula com as turmas dos participantes. Na fase final do curso, os professores que concluíram todas as etapas receberam um certificado de curso de extensão contabilizando 40 horas, emitido pela UNESC, reconhecendo seu compromisso com a formação continuada e a inovação na prática docente.

No decorrer do período de execução das atividades, os professores desenvolveram projetos para participar da mostra interdisciplinar em escola. Os melhores trabalhos, de cada escola, foram selecionados para uma Feira Regional, organizada pela CRE, sob a temática "Explorando Fronteiras: Ciência Além dos Limites". Abordando essa temática, tendo a tecnologia como tópico central, os trabalhos foram produzidos levando em consideração quatro eixos principais: 1) Mudanças climáticas e a justiça climática; 2) Diversidade Biológica; 3) Saúde Global; 4) Tecnologias Emergentes. Alinhado à mostra científica os temas propostos possuíram intrínseca relação com os conteúdos da ementa do curso. Nos encontros foram apresentados temas diferentes, buscando sempre incluir abordagens teóricas da EA crítica e os conceitos técnicos relacionados aos temas mais sugestivos à cada oficina (Quadro 2), buscando nivelar e aprofundar os conhecimentos dos participantes. Pesquisadores e profissionais especialistas nos temas propostos para cada oficina fizeram parte da formação, incluindo professores e pesquisadores da UNESC e de instituições parceiras como a UFRGS.

Quadro 2 – Detalhamento das oficinas executadas.

OFICINAS	OBJETIVOS	ATIVIDADE REALIZADA
Oficina 1: Abertura do curso	– Apresentar o curso e sua metodologia	– Atividade remota
Oficina 2: Mudanças climáticas e a justiça climática	– Apresentar as causas das mudanças climáticas e seus efeitos nos recursos hídricos, despertando a consciência crítica nos professores, e a discussão de soluções para alcançarmos a justiça climática.	– Explanação de conteúdo com imagens, gráficos, mapas; – Sugestão de atividades práticas para serem replicadas com os alunos; – Leitura prévia sobre a temática de artigos científicos que foram encaminhados anteriormente a data dessa oficina (atividade assíncrona);
Oficina 3: Diversidade Biológica	– Apresentar a conexão que nossas ações têm com a biodiversidade do planeta; – Como ensinar aos alunos essa temática; – Quais são as ameaças das mudanças climáticas sobre a biodiversidade;	– Explicação sobre o conceito de biodiversidade; – Apresentação de mapas e gráficos que ilustram as mudanças na distribuição das espécies ao longo do tempo; – Sugestões de atividades a serem replicadas em sala de aula e indicações de materiais didáticos;
Oficina 4: Saúde Global	– Apresentar os impactos que as mudanças climáticas causam na saúde humana;	– Contextualização dos dados históricos dos avanços da saúde humana; – Sugestão de atividades práticas; – Indicação de leituras complementares a temática;
Oficina 5: Tecnologias Emergentes	– Uso da tecnologia em favor da educação;	– Apresentação dos modelos de Inteligências Artificiais; – Sugestões de uso em sala de aula; – Indicações de plataformas para desenvolvimento de atividades;

Fonte: ProFor Águas Unesc, elaborado pelos autores (2024).

Resultados e Discussões:

O projeto 1, demonstrou um impacto significativo na conscientização dos estudantes, promovendo discussões enriquecedoras sobre a relação entre a água, a qualidade de vida e os desafios impostos pelas mudanças climáticas. O alto envolvimento dos participantes (Figuras 4 e 5) evidenciou a importância de ações educativas contínuas para fortalecer a cultura de conservação ambiental desde a infância e adolescência, contribuindo para formação de cidadãos comprometidos com um futuro mais sustentável para a região da Bacia do Rio Araranguá.

Figura (4 e 5). 4 – Uso de aplicativo em atividade sobre o consumo de água na oficina 3. 5. Aplicação de atividade: A água que você não vê na oficina 4.



Fonte: Acervo ProFor Águas Unesc (2023).

O projeto 2 atingiu seu objetivo central, que foi a formação e qualificação dos docentes visando a adoção de práticas pedagógicas inovadoras, integrando conteúdos socioambientais relevantes à realidade

da região, impactando-os diretamente e de forma indireta, beneficiando os estudantes das escolas participantes, especialmente aqueles que vivem nos territórios das bacias hidrográficas dos rios Mampituba e Araranguá. A iniciativa buscou fortalecer a abordagem crítica e interdisciplinar sobre a sustentabilidade

Figura 6 – Professores e equipe técnica na Oficina 2 sobre Mudanças climáticas



Fonte: Acervo ProFor Águas Unesc (2024).

Considerações finais

A gestão sustentável da água é um dos grandes desafios contemporâneos, exigindo a participação ativa da sociedade, instituições acadêmicas e órgãos gestores. Nesse contexto, iniciativas como as desenvolvidas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas do Sul Catarinense e pelo programa ProFor Águas UNESC têm se destacado ao promover projetos de Educação Ambiental (EA) voltados à conscientização e engajamento da comunidade. Essas ações vêm gerando impactos significativos nos territórios das bacias hidrográficas da região, estimulando o debate sobre o uso responsável da água e fortalecendo a gestão participativa. A integração entre universidade, Comitês e sociedade civil tem sido essencial para ampliar o alcance da EA, impulsionando práticas sustentáveis e promovendo uma cultura de preservação dos recursos hídricos. Com o olhar voltado para o futuro, busca-se expandir as atividades para que seja consolidado como referência em EA aplicada à gestão da água. Dessa forma, espera-se contribuir para a formação de cidadãos mais conscientes e engajados na proteção e no uso sustentável desse recurso essencial para a vida.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC). Agradecemos à FAPESC que em colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Economia Verde (SEMAE), proporcionaram o suporte financeiro e institucional, viabilizado por meio da Chamada Pública 32/2022 – Programa de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas de Santa Catarina. Esse apoio foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo, possibilitando a realização das pesquisas e a ampliação do conhecimento sobre a temática abordada.

Referências

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. **Educação ambiental:** a formação do sujeito ecológico. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2006. 256 p. Docência em formação: problemáticas transversais.

LATOUR, Bruno. **Políticas da natureza. Como fazer ciência na democracia**. Trad.de Carlos Aurélio Mota de Souza. Bauru, SP: Edusc, 2004. 411p.

LOUREIRO, C F B e GOMES, G F. A resolução n. 98/2009 do conselho nacional de recursos hídricos e a educação ambiental para a gestão das águas. Diálogo. São Paulo, n. 8, julho de 2011.

RUIZ, J. B.; LEITE, E. C. R.; RUIZ, A. M. C.; AGUIAR, T. F. **Educação ambiental e os temas transversais.** Akrópolis, v. 13, n. 1, 2005. Disponível em: https://revistas.unipar.br/index.php/akropolis/article/view/451/410. Acesso em: 12/12/2024

Impacto do Grafeno em Sistemas de Filtração: Uma Análise para Membranas Especiais

Thomas Hammes[1], Nathália Ferronato Livinalli[1], Camila Baldasso[1], Giovani Dambros Telli[1]
[1] *Universidade de Caxias do Sul /UCS (thammes@ucs.br, nflivinalli@ucs.br, cbaldasso@ucs.br, gdtelli@ucs.br)*

Resumo: A filtração é uma etapa essencial na produção industrial, pois remove impurezas e contaminantes, garantindo produtos de alta qualidade para utlização em processos avançados. Este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de membranas à base de grafeno em sistemas de filtração, considerando a necessidade de métodos de purificação mais eficazes. O grafeno, devido à sua resistência mecânica, tem potencial para melhorar a eficiência e durabilidade das membranas, bem como para economizar recursos. A pesquisa envolve a caracterização de membranas adicionadas de grafeno no processo de filtração, observando parâmetros como pressão e temperatura, melhora a remoção de impurezas. Os resultados esperados poderão confirmar a eficiência de membranas adicionadas de grafeno patenteadas e já testadas para filtração, aplicadas especificamente no processo de concentração de biofertilizantes. Este estudo fornecerá informações práticas para a indústria, propondo uma solução sustentável e inovadora para essa aplicação. Além disso, a pesquisa poderá beneficiar áreas afins, como alimentação, produtos químicos e tratamento de águas residuais, ao fornecer uma análise detalhada da eficiência e dos parâmetros operacionais no processo de filtração. O trabalho tem potencial para gerar um impacto positivo no setor agrícola, aumentando a eficiência na produção e no uso de biofertilizantes.

Palavras-chave: Membrana. Ultrafiltração. Grafeno. Biofertilizante.

Impact of Graphene in Filtration Systems: An Analysis for Special Membranes

Abstract: The Filtration process plays a vital role in industrial production by removing impurities and contaminants, thereby ensuring the quality of products used in advanced processes. This study investigates the efficiency of graphene-based membranes in filtration systems, addressing the demand for more effective purification methods. Due to its exceptional mechanical properties, graphene has the potential to enhance both the performance and durability of filtration membranes while optimizing resource usage. The research focuses on characterizing membranes enhanced with graphene during the filtration process, analyzing parameters such as pressure and temperature to assess their impact on impurity removal. The expected outcomes aim to validate the per-

formance of graphene-enhanced membranes, particularly in the concentration of biofertilizers. This study offers practical insights for industry, presenting a sustainable and innovative solution for this application. Moreover, the findings may benefit related sectors such as animal feed, chemical processing, and wastewater treatment by providing a comprehensive evaluation of filtration efficiency and operational parameters. Finally, this work has the potential to positively impact the agricultural sector by improving the production and utilization of biofertilizers.

Key words: Membrane. Ultrafiltration. Graphene. Biofertilizer.

Introdução

A ultrafiltração, uma tecnologia de separação por membrana, oferece eficiência energética, possibilidade de concentração e produção de produtos de alta pureza. Ela opera por meio de membranas semipermeáveis para separar partículas e solutos de massa molecular superiores a 10 kDa, purificando e concentrando efetivamente os nutrientes. No entanto, o processo pode enfrentar desafios, como a incrustação, onde o acúmulo de partículas nas superfícies da membrana prejudica o desempenho. Pesquisas recentes têm demonstrado que a incorporação de nanoplaquetas de grafeno (NPG) em membranas pode aumentar significativamente a resistência à incrustação e a eficiência de filtração. Estudos como os de Bertoncello *et al.* (2021) e Martins *et al.*, (2023) destacam que membranas modificadas com grafeno representam uma inovação promissora para a indústria, com aplicações que vão desde a concentração de biofertilizantes até o tratamento de efluentes agrícolas. Esses avanços reforçam o potencial das membranas de grafeno como uma solução sustentável e de alto desempenho para desafios industriais.

As membranas à base de grafeno são o foco deste estudo devido às propriedades mecânicas do grafeno e à sua resistência inerente ao entupimento, que podem melhorar significativamente a durabilidade da membrana e a eficiência operacional. Utilizando experimentos de laboratório, o estudo visa aperfeiçoar o projeto da membrana e os parâmetros operacionais a fim de avaliar o fluxo de fluido e a concentração de solutos dentro do ambiente da membrana.

Para uma ultrafiltração eficiente, as membranas devem possuir resistência mecânica e química, porosidade controlada e alta resistência à incrustação. Os avanços na tecnologia de membrana, como a incorporação de grafeno e a técnica de eletrofiação, melhoraram a qualidade da membrana, aumentando a resistência mecânica e a permeabilidade.

Esses avanços permitem a produção de membranas que são eficientes tanto na filtração de água quanto em diversas aplicações (Livinalli, 2024).

A concentração por membrana é uma técnica eficaz para o segmento industrial, removendo o excesso de água e concentrando nutrientes e microrganismos benéficos. Esta abordagem é mais eficiente do ponto de vista energético do que os métodos térmicos, preservando componentes sensíveis ao calor e facilitando o transporte e armazenamento (Queiroz, 2001; Pedroso, 2023). No entanto, a incrustação continua sendo um problema, exigindo seleção adequada de membranas e estratégias de limpeza eficazes. Embora as membranas tenham sido amplamente estudadas para o controle de toxinas no tratamento de águas residuais, sua aplicação na filtragem de partículas sólidas no meio industrial ainda é pouco explorada (Ferreira, 2016).

Este estudo tem como objetivo desenvolver processos de separação especializados para filtração de líquidos com percentual de sólidos presentes, com foco na purificação e concentração de nutrientes utilizando grafeno como uma tecnologia inovadora. Esse estudo apresenta uma caracterização detalhada das propriedades de diferentes membranas, com o objetivo de comparar suas características e identificar os materiais mais adequados para processos de filtração. Além disso, são exploradas novas tecnologias de fabricação, visando promover práticas mais sustentáveis na produção de membranas. Dessa forma, o artigo contribui para a seleção e o desenvolvimento de materiais com propriedades aprimoradas, sem abordar aplicações práticas ou testes de desempenho. Essas inovações estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 9, 12 e 13, que visam melhorar a qualidade dos produtos, reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência no uso de recursos naturais.

Materiais e Métodos

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento dos ensaios experimentais que visam aperfeiçoar as membranas de ultrafiltração, visando aumentar a eficiência e sustentabilidade da purificação e concentração de produtos. O estudo utiliza membranas de polisulfona (PSU) incorporadas com nanoplaquetas de grafeno (NPG), que foram sintetizadas seguindo um método patentea-

do, visando avaliar a resistência à incrustação (*fouling*) e o desempenho da filtração.

As membranas de polisulfona (PSU) com nanoplaquetas de grafeno (NPG) foram sintetizadas pelo método de Inversão de Fases (IF), seguindo um processo patenteado. A PSU foi dissolvida e as NPG foram incorporadas em uma concentração de 1,5% em relação a massa total. A solução foi espalhada sobre uma placa de vidro e imersa em água destilada para precipitação, seguida de cura à temperatura ambiente e secagem em estufa, em um processo conhecido como *casting*. As membranas foram caracterizadas por ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Análise Termogravimétrica (TGA) e testes de Permeabilidade e Retenção, confirmando sua eficácia para aplicações em ultrafiltração.

Em experimentos desenvolvidos no LAMEM (Laboratório de Membranas e Materiais – UCS), soluções de líquidos são filtradas para medir a eficiência de separação e resistência à incrustação, com análise estatística para garantir precisão. As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas utilizando o equipamento Mira3 TESCAN, um microscópio eletrônico de alta resolução com fonte de emissão de campo (FEG) e detector secundário de elétrons (SE). O Mira3 TESCAN opera com tensão de aceleração de 0,2 a 30 kV, resolução de até 1 nm em condições ideais e ampliação de até 1.000.000x, permitindo a obtenção de micrografias detalhadas da seção transversal das membranas. A incerteza de medição associada ao equipamento é de ±2% para dimensões nanométricas, garantindo alta confiabilidade nos resultados.

A avaliação experimental das membranas envolve testes para taxa de fluxo, rejeição de soluto e resistência à incrustação. São realizados ajustes às superfícies da membrana, materiais e condições de operação, como pH e temperatura, que são feitos para melhorar o desempenho e tornar o processo mais sustentável e econômico. Com a análise termogravimétrica (TGA), realizada em um equipamento da marca TA Instruments, modelo Q500, com incerteza de medição de ±0,1% para massa e ±1 °C para temperatura, é possível observar o comportamento térmico das membranas. O TGA permite avaliar a estabilidade térmica e a composição das membranas em diferentes faixas de temperatura, fornecendo dados essenciais para a caracterização dos materiais.

Resultados e Discussão

Este estudo apresenta os resultados obtidos com a análise de uma membrana de base polimérica utilizada no processo de separação. A membrana desenvolvida foi produzida com uma configuração patenteada, resultando em novas membranas que comparadas com alternativas comerciais. Os testes avaliaram parâmetros críticos de desempenho, como fluxo de permeado, eficiência de remoção de água, concentração de nutrientes e resistência à incrustação, conforme metodologia aplicada por (Livinalli *et al.* 2024).

Os resultados destacam a importância do grafeno para melhoria da filtração de membrana, potencialmente revolucionando a produção na indústria e oferecendo benefícios práticos significativos à indústria. (Habert *et al.*, 2006; Livinalli *et al.*, 2024; Kusumocahyo *et al.*, 2020).

Segundo os resultados da (Livinalli, 2024) indicam que a membrana teve resultado positivo, resultando em um produto com maior concentração de nutrientes essenciais. Essas condições ajustadas estão alinhadas com as descobertas de Queiroz (2001) e Pedroso (2023), que enfatizam a importância de operar com baixa pressão e temperatura para preservar os componentes bioativos.

Análises pós-filtração validaram ainda mais a qualidade do concentrado. Propriedades-chave como pH e condutividade elétrica permaneceram estáveis, confirmando que a membrana de grafeno removeu a água de forma eficaz, preservando o valor nutricional do permeado e a integridade química. O aumento dos sólidos dissolvidos totais (TDS) reflete a retenção bem-sucedida de nutrientes, sugerindo que este método pode aumentar o valor dos produtos, facilitando seu transporte e armazenamento (Livinalli, 2024).

A estrutura em nanoescala do grafeno, sua superfície hidrofílica lisa e sua permeabilidade seletiva contribuem para uma resistência à incrustação aprimorada em comparação com as membranas comerciais (Ferreira, 2016; Choudhury *et al.*, 2018). A limpeza rotineira a cada 4 horas demonstrou ser eficaz, com a membrana de grafeno apresentando recuperação de fluxo consistente, reduzindo o tempo de inatividade e prolongando a vida útil operacional. (Livinalli, 2024)

O uso de membranas de grafeno na produção industrial oferece benefícios ambientais e econômicos, uma vez que sua durabilidade e eficiência energética reduzem custos de manutenção e consumo de re-

cursos, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 9, 12 e 13. Os resultados sugerem que essas membranas têm forte potencial para aplicações mais amplas na indústria. Pesquisas futuras podem explorar a produção em larga escala, a adequação a diferentes composições de fertilizantes, bem como o aperfeiçoamento de modelos CFD para maior precisão preditiva.

Comparada às membranas comerciais de ultrafiltração, a membrana de base polimérica demonstrou desempenho consistentemente superior. Destaca-se por manter um fluxo de permeado mais estável e exibir maior resiliência à incrustação, permitindo operação prolongada com mínimas interrupções para manutenção (Livinalli, 2024). Estas descobertas têm implicações práticas para a indústria, sendo que as membranas poderiam fornecer uma solução mais eficaz e custo-eficiente para a concentração de produtos.

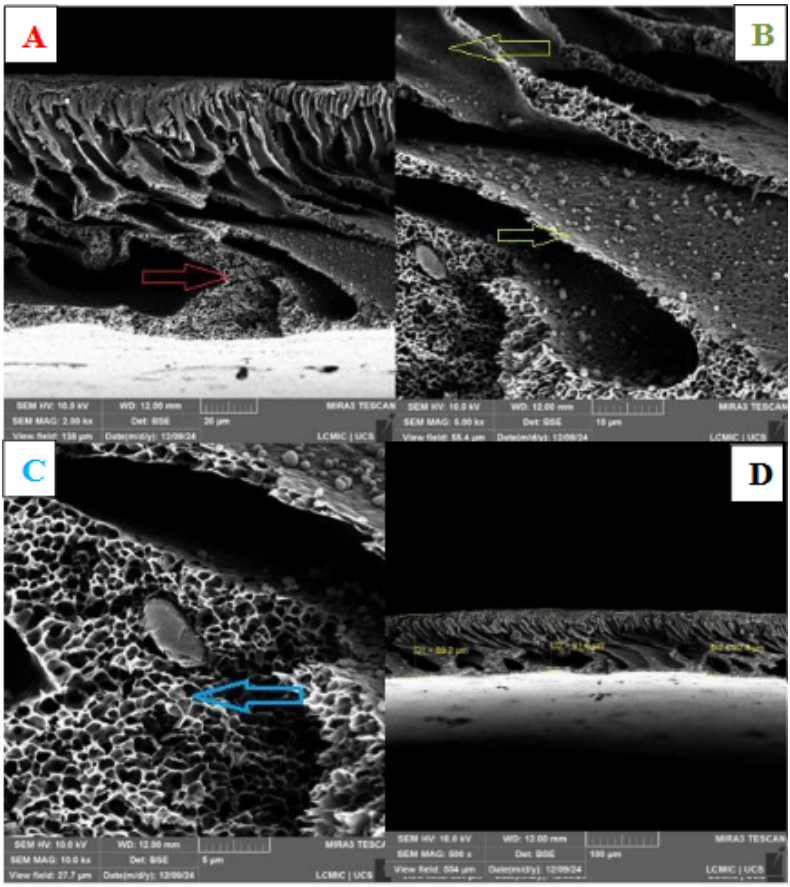
Ao reduzir a necessidade de substituições frequentes, o uso do grafeno também pode diminuir a geração de resíduos associada ao descarte de membranas. Além disso, a resistência à incrustação reduz a energia necessária para limpeza e bombeamento, promovendo maior sustentabilidade.

A Figura 1 apresenta as análises realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que possibilitaram uma compreensão detalhada da morfologia e das propriedades estruturais das membranas sintetizadas. Na micrografia obtida com aumento de 2.000x, observou-se uma estrutura porosa com alta densidade de poros interconectados. Essa configuração é característica de membranas assimétricas de ultrafiltração. A presença de porosidade controlada sugere que a membrana apresenta eficiência no transporte de líquidos, ao mesmo tempo que garante a retenção de partículas maiores, como proteínas. Esse tipo de formação estrutural é comum em membranas que incorporam nanoplaquetas de grafeno, as quais contribuem para maior estabilidade e menor espessura da membrana (Martins *et al.*, 2023).

Na micrografia ampliada a 5.000x, foi possível identificar uma interface densa e compacta no topo da membrana, sobreposta por uma camada porosa. Essa configuração estrutural reforça as características de membranas assimétricas com boa seletividade e permeabilidade. A análise detalhada da imagem com aumento de 5 μm revelou poros maiores e bem distribuídos na estrutura porosa. Observou-se que concentrações mais elevadas desse material podem melhorar a unifor-

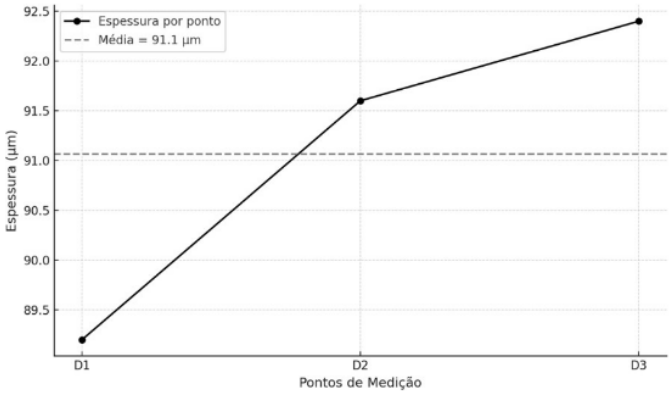
midade dos poros, embora o excesso possa levar a aglomerações que comprometem propriedades mecânicas e funcionais. A receita utilizada por (Livinalli, 2024) comprova mais uma vez sua eficácia superior. Por fim, a micrografia com aumento de 500x e medições de espessura destacou a seção transversal da membrana, evidenciando camadas distintas com espessuras variáveis entre 89,2 e 92,4 micrômetros. A Figura 2 ilustra a espessura da membrana em diferentes pontos de medição.

Figura 1 – Microscopia transversal das membranas sintetizadas, micrografias superiores com magnificação 2.000x e 5.000x respectivamente da esquerda para direita e inferiores de 10.000x e 500x respectivamente.



Fonte: Autor (2025)

Figura 2 – Espessuras da membrana nos pontos medidos.



Fonte: Autor (2025)

Os resultados obtidos estão alinhados com os descritos em (Livinalli., 2024) que investigou a síntese de membranas de polisulfona com diferentes concentrações de NPG (0,5%, 1% e 1,5%). Conforme destacado no artigo, a maior concentração de NPGs resultou em melhorias significativas na resistência mecânica e química das membranas, além de estabilizar a matriz polimérica e aumentar a eficiência de retenção. A incorporação de NPG também contribuiu para o controle da porosidade e a formação de uma estrutura mais estável, com maior seletividade e permeabilidade.

A Tabela 1 apresenta os valores de permeabilidade (Lp) obtidos para as membranas produzidas com diferentes teores de nanoplaquetas de grafeno (NPG), conforme os dados de (Livinalli., 2024). Observa-se uma redução acentuada da permeabilidade com o aumento do teor de NPG, indicando a influência direta da adição da nanocarga na estrutura da membrana.

A redução da permeabilidade pode ser atribuída à hidrofobicidade crescente das amostras com grafeno, que apresenta caráter apolar. Essa característica dificulta a passagem de água pelas membranas. Além disso, o empacotamento das cadeias poliméricas promovido pela presença de NPG resulta em estrutura interna mais compacta, com poros menores e menos conectividade, como observado nas micrografias por MEV.

Assim, os resultados obtidos por (Livinalli., 2024) reforçam que o aumento do teor de grafeno reduz significativamente a permeabi-

lidade da membrana, ao mesmo tempo em que favorece resistência mecânica e seletividade. Dessa forma, os dados obtidos por MEV comprovaram as evidências de que as membranas desenvolvidas possuem características promissoras para aplicações industriais, ressaltando a importância do controle rigoroso durante a síntese para alcançar propriedades otimizadas.

Tabela 1 – Valores de permeabilidade (Lp) das membranas produzidas com a adição de zero; 0,5 %; 1,0 % e 1,5 % m/m de nanoplaquetas de grafeno.

Amostra	Permeabilidade ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$)
BRANCO (sem adição)	6,78±1,82 [a]
PSUNPG05 (0,5% m/m)	2,44±0,65 [b]
PSUNPG10 (1,0% m/m)	0,32±0,04 [c]
PSUNPG15 (1,5% m/m)	0,10±0,04 [c]

Fonte: Livinalli (2024)

Conclusão

Este estudo demonstra o grande potencial de membranas à base de grafeno para o processo de concentração em aplicações industriais, abordando alguns dos principais desafios enfrentados pelas tecnologias de filtração tradicionais, incluindo resistência ao entupimento e retenção de nutrientes.

As membranas de grafeno tem o potencial de serem altamente eficaz, mantendo o fluxo de permeado estável, aumentando a eficiência da remoção de água e alcançando altos níveis de concentrações de nutrientes essenciais. A aplicação de membranas de grafeno na produção industrial responde às crescentes demandas por processos mais sustentáveis e eficientes. Ao possibilitar maiores taxas de concentração, essas membranas facilitam o transporte e o armazenamento de produtos, ampliando seu potencial e usabilidade. Além disso, a durabilidade e a eficiência energética das membranas de grafeno reduzem os custos de manutenção e mantém a responsabilidade ambiental, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Como sugestão para pesquisas futuras, propõe-se ampliar a produção de membranas de grafeno, aperfeiçoando suas propriedades para atender diferentes composições de produtos e expandindo a gama de condições operacionais. Isso permitirá uma adoção mais ampla pela

indústria e o refinamento da aplicação de membranas de grafeno para diversas necessidades nos setores agrícola, industrial e ambiental, estabelecendo uma base sólida para o avanço tecnológico.

Além disso, um modelo computacional pode auxiliar nas decisões futuras relacionadas aos processos, utilizando os parâmetros validados neste estudo como referência, como variações de temperatura, pressão e concentração de solutos, o modelo pode fornecer informações valiosas para aplicações em escala industrial. O uso de simulações CFD, aliado a testes experimentais, abre novas possibilidades para o desenvolvimento de membranas personalizadas, adaptadas a requisitos específicos de filtração.

Em conclusão, as membranas de grafeno representam uma solução altamente promissora para a concentração de produtos, oferecendo maior resistência à incrustação, eficiência na retenção de nutrientes e excelente durabilidade. Sua integração em processos de filtração contribui para práticas operacionais mais sustentáveis, promovendo uma abordagem eficiente, econômica e ambientalmente responsável para a produção industrial.

Referências

Ahmad, T., Guria, C., & Mandal, A. (2020). A review of oily wastewater treatment using ultrafiltration membrane: A parametric study to enhance the membrane performance. Journal of Water Process Engineering, 36(101289), 101289. doi:10.1016/j.jwpe.2020.101289

Alves, H. G. (2016). Water/oil separation process via ceramic membranes: Modeling and Simulation". International Journal of Modeling and Simulation for the Petroleum Industry, 23–32.

Asaeda, M. (2003). Membranes: Volume 752: Preparation, Properties and Applications. Materials Research Society, 752.

Bertoncello, A. G., Modaeli, E. V., & Batista, V. D. S. (2021). O GRAFENO NA DESSALINIZAÇÃO D'ÁGUA E O IMPACTO NAS REGIÕES COM CRISE HÍDRICA. South American Development Society Journal, 7(19), 74. doi:10.24325/issn.2446-5763.v7i19p74-86

Choudhury, A. R., Mondal, S., & Sinha, K. (2018). Incrustação e limpeza de membranas de microfiltração e ultrafiltração: uma revisão. Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição.

De Almeida, J. P. (2020). Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 107–114.

Ferreira, G. (2021). Avaliação Da Cinética De Degradação Térmica De Membranas De Acetato De Celulose Híbridas Com Emprego De Métodos Isoconversionais".

Ferreira, L. C. (2016). Recuperação de nutrientes de esgoto tratado após filtração em membranas (Vol. 36). Natal.

Habert, A. C., Borges, C. P., Kronemberger, F. de A., Ferraz, H. C., & Nobrega, R. (2020). Processos de separação por membranas. Em Purificação de produtos biotecnológicos: perações e processos com aplicação industrial (p. 139–200). Editora Blucher.

Hughes, R. (1996). Membrane Reactors. Em Industrial Membrane Separation Technology (p. 271– 302). Dordrecht: Springer Netherlands.

Kusumocahyo, S. P., Ambani, S. K., Kusumadewi, S., Sutanto, H., Widiputri, D. I., & Kartawiria, I. S. (2020). Utilization of used polyethylene terephthalate (PET) bottles for the development of ultrafiltration membrane. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(6), 104381. doi:10.1016/j.jece.2020.104381

Livinalli, N. F., Silvestre, W. P., Duarte, J., & Baldasso, C. (2024). Incorporation of graphene nanoplatelets in the synthesis of polysulfone-based polymeric membranes. Chemical Engineering Communications, 211(8), 1157–1174. doi:10.1080/00986445.2024.2336244

Martins, Janiel Lopes. Avaliação e caracterização de membranas de pla/argila. orientadora: dra. Amanda Melissa Damião Leite. 2023. 73f. dissertação (mestrado em engenharia mecânica) – centro de tecnologia, universidade federal do rio grande do Norte, natal, 2023.

Mulder, M. (1996). Princípios básicos da tecnologia de membranas. Kluwer Academic Publishers.

Neto, G. (2020). Processo de separação água/óleo usando sistema modular de membranas cerâmicas: modelagem avançada e simulação via CFD.

Noble, R. D. (1995). Membrane separations technology: Principles and applications. Elsevier Science & Technology.

Pedroso, C. R., Vidal, C. M., Belli, T. J., Campos, S. X. de, & Silva, C. P. da. (2023). Biorreator com membranas de leito móvel tratando efluente de baixa carga de indústria de produção de papel: análise de desempenho e da colmatação das membranas. Engenharia sanitária e ambiental, 28. doi:10.1590/s1413-415220220263

Queiroz, S. C. N., Collins, C. H., & Jardim, I. C. S. F. (2001). Métodos de extração e/ou concentração de compostos encontrados em fluidos biológicos para posterior determinação cromatográfica. Quimica Nova, 24(1). doi:10.1590/s0100-40422001000100013

Slimane, F. (2018). Physical backwash optimization in membrane filtration processes: Seawater ultrafiltration case. Journal of Membrane Science and Research, (2), 63–68.

Sobrado, A., & Javier, A. (2021). Valorización del amonio de águas residuales urbanas para la obtención de fertilizantes líquidos mediante contactores de membrana.

Xu, W., Sun, X., Huang, M., Pan, X., Huang, X., & Zhuang, H. (2020). Novel covalent organic framework/PVDF ultrafiltration membranes with antifouling and lead removal performance. Journal of Environmental Management, 269(110758), 110758. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110758

Análise da Composição Gravimétrica em um Restaurante Universitário

Gabriela Tavares Santiago[1], Lademir Luiz Beal[2]
[1]*Laboratório de Tecnologia Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (gtsantiago@ucs.br)*
[2] *Laboratório de Tecnologia Ambiental /Universidade de Caxias do (llbeal@ucs.br)*

Resumo: O presente artigo tem como objetivo analisar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados em um restaurante universitário, localizado no Campus-Sede da Universidade de Caxias do Sul, e calcular a geração per capita de resíduos. A pesquisa identificou que a maior parte dos resíduos gerados é composta por matéria orgânica putrescível (86,9%), predominando nos resíduos do preparo das refeições (83%), o que sugere um desperdício considerável durante essa etapa. As coletas realizadas em três momentos ao longo do ano revelaram que a maior quantidade de resíduos gerados foi de 96,55 kg, correspondente a uma geração per capita de 0,33 kg/pessoa/dia. Essa quantidade de resíduos está alinhada aos padrões observados em outros estudos sobre restaurantes universitários. Os resultados indicam que, além de estratégias para reduzir o desperdício no preparo das refeições, a alta geração de resíduos orgânicos pode ser aproveitada para a produção de biogás, minimizando o impacto ambiental e oferecendo alternativas sustentáveis para o manejo desses resíduos. O estudo contribui para a compreensão dos padrões de geração de resíduos em estabelecimentos de alimentação coletiva e aponta para melhorias na gestão desses resíduos.

Palavras-chave: Composição gravimétrica, Geração de resíduos, Resíduos sólidos

Analysis of Gravimetric Composition in a University Restaurant

Abstract: The present paper aims to analyze the gravimetric composition of solid waste generated in a university restaurant located on the main campus of the University of Caxias do Sul and calculate per capita waste generation. The analysis showed that the majority of the generated waste consists of biodegradable organic matter (86.9%), predominantly from meal preparation waste (83%), indicating significant food waste during this stage. The collections conducted at three different points throughout the year revealed that the highest amount of waste generated was 96.55 kg, corresponding to a per capita generation of 0.33 kg/person/day. This amount of waste is consistent with patterns documented in other studies of university restaurants. The results suggest that, in addition to implementing strategies to reduce waste during meal preparation, the high generation of organic waste could be utilized for biogas production, minimizing environmental impact and offering sustainable

alternatives for waste management. The study enhances the understanding of waste generation patterns in institutional food service settings and highlights potential improvements in waste management practices.

Key words: Gravimetric composition, Waste Generation, Solid waste

Introdução

A geração de resíduos sólidos é um desafio ambiental significativo, demandando estratégias de gestão que minimizem os impactos associados ao descarte inadequado e ao desperdício de materiais (BRASIL, 2022). Entre as diversas fontes geradoras, os estabelecimentos de alimentação, como restaurantes, representam um dos principais contribuintes, devido ao alto volume de resíduos orgânicos e embalagens descartáveis provenientes do preparo e consumo de alimentos (CORRÊA; LANGE, 2011). Os resíduos orgânicos, quando destinados a aterros, contribuem para impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação do solo e da água (ZARO, 2018). A análise gravimétrica dos resíduos permite identificar a composição e quantidade de cada tipo de descarte, facilitando a implementação de estratégias de redução e aproveitamento (MASSUGA *et al.*, 2021).

Nos restaurantes, os resíduos são compostos, em grande parte, por matéria orgânica, proveniente dos restos alimentares, bem como, embalagens descartáveis, como plásticos e papéis, utilizados tanto no preparo quanto no consumo das refeições (SILVA; SOARES; ROSSONI, 2021; SILVA *et al.*, 2018). A caracterização desses materiais possibilita a compreensão dos padrões de desperdício e oferece dados para o desenvolvimento de práticas de manejo sustentável, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prioriza a minimização e o reaproveitamento dos resíduos.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo analisar a composição gravimétrica dos resíduos gerados em um restaurante universitário e a quantidade média de resíduos por pessoa (geração per capita). Esta análise busca fornecer uma compreensão dos padrões de geração de resíduos no restaurante universitário, contribuindo para o entendimento da gestão de resíduos em estabelecimentos de alimentação coletiva.

Metodologia

O presente estudo foi realizado no restaurante universitário localizado no Bloco 59 do Campus-Sede da Universidade de Caxias do Sul,

no município de Caxias do Sul, RS. Inaugurado em setembro de 2021, o restaurante é administrado pela Escola de Gastronomia da Universidade de Caxias do Sul. Este espaço oferece refeições no formato de bufê a quilo no almoço e jantar de segunda a sexta-feira.

Foram realizadas três coletas ao longo do ano, excluindo-se os meses iniciais e finais devido ao menor movimento no restaurante durante os recessos acadêmicos. Os resíduos foram separados em duas categorias: resíduos gerados no preparo das refeições e resíduos provenientes do salão, onde são realizadas as refeições. Desse modo realizou-se a composição gravimétrica utilizando as categorias propostas por De Conto *et al.* (2009), conforme o Quadro 1. Após a pesagem, foi realizado o cálculo da geração per capita dos resíduos, um indicador importante para medir a eficiência e sustentabilidade do restaurante. Esse cálculo foi feito dividindo a massa total de resíduos pelo número de refeições servidas durante o período de coleta, fornecendo um valor médio que representa a quantidade de resíduo gerado por pessoa atendida.

Quadro 1 – Categorias de Resíduos Sólidos

Categoria	Resíduos Presentes
Matéria orgânica putrescível	Restos alimentares de origem animal e vegetal (cascas de frutas, erva-mate, preparo da alimentação), podas de árvores, flores, folhas e grama.
Plástico	Sacos; sacolas; embalagens de refrigerantes, de água, de leite, de iogurte, de sorvete, de margarina, de óleo; de azeite; de biscoitos e de bombons; copos de água e café; isopor; esponjas; papéis de balas; embalagens de cosméticos, e de produtos de limpeza; engradados; cabide e pás de veneziana.
Papel e papelão	Caixas de alimentos, de bebidas, de ovos, de filtro de café, de chá, de medicamentos, jornais, revistas, sacolas (principalmente oriundas de feiras de negócios) e livros.
Vidro	Garrafas de bebidas (cerveja, vinho), copos, embalagens de produtos alimentícios e de medicamentos.
Metal Ferroso	Enlatados de produtos alimentícios, palha de aço e tampas.
Metal não ferroso	Latas de bebidas, de leite e achocolatados.
Madeira	Amostras de madeira oriundas de feiras de negócios, caixas e palitos de fósforo.

Panos, trapos, couro e borracha	Restos de tecido provenientes da secadora, velcro, peças de vestuário, pedaços de tecido, panos de limpeza, luvas e touca.
Contaminante químico	Pilhas, tinta de sapato, embalagens de medicamentos, embalagens pressurizadas, embalagens de veneno, panos impregnados com produtos químicos, canetas com tinta, cosméticos em geral e lâmpadas.
Misto	Embalagem longa vida (leite, suco, entre outros), blister, embalagens laminadas de alimentos (salgadinhos, café, biscoitos), embalagem papel A4, fita adesiva, crachá, mouse pad, fiação, embalagem de creme dental, papel alumínio, isqueiro e esponja de limpeza.
Diversos	Pontas de cigarro, restos de sabonete e sabão, rolhas, fita de impressora, papel carbono, prendedor de roupa, escova de dentes, cartão telefônico, protetor auricular, filtros de água, raio-x, fitas k-7e porcelana

Fonte: Adaptado de De Conto *et al* .(2009)

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição gravimétrica para as três coletas realizadas. Observa-se que, em todas as coletas, a maior fração de resíduos sólidos gerados foi de matéria orgânica putrescível, com uma porcentagem total de 86,9%. Este valor é consistente com o estudo realizado por Forner e Conto (2020) em um restaurante situado em uma instituição de ensino superior, que reportou uma proporção de 89,19% para esta categoria. Esses dados reforçam o padrão predominante de geração de resíduos orgânicos em estabelecimentos de alimentação.

Tabela 1 – Resultados da composição gravimétrica

Categoria	**Coleta 1**		**Coleta 2**		**Coleta 3**		**Total**	
	(kg)	**(%)**	**(kg)**	**(%)**	**(kg)**	**(%)**	**(kg)**	**(%)**
Plástico	3,20	4,40	4,10	6,58	4,50	4,66	11,80	5,10
Papel e papelão	2,05	2,82	4,80	7,70	4,85	5,02	11,70	5,05
Vidro	0,70	0,96	-	-	-	-	0,70	0,30
Panos, trapos, couro e borracha	0,40	0,55	0,45	0,72	0,60	0,62	1,45	0,63
Guardanapos	1,10	1,51	0,40	0,64	0,30	0,31	1,80	0,78
Metal	0,50	0,69	0,65	1,04	1,60	1,66	2,75	1,19

Misto	-	-	0,05	0,08	0,10	0,10	0,15	0,06
Madeira	-	-	0,05	0,08	-	-	0,05	0,02
Matéria orgânica putrescível	64,75	89,06	51,80	83,15	84,60	87,62	201,15	86,87
TOTAL	72,70	100,00	62,30	100,00	96,55	100,00	231,55	100,00

Fonte: Autores (2025)

Nota-se um aumento na porcentagem de resíduos plásticos da primeira coleta (4,4%) para a segunda (6,58%). Este padrão pode ser atribuído ao uso flutuante de embalagens e utensílios descartáveis, frequentemente influenciado pelo volume de refeições servidas e pela sazonalidade na demanda do restaurante.

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à origem da geração de matéria orgânica. Verifica-se que a maior parte dos resíduos orgânicos é gerada no preparo das refeições (83%), enquanto uma fração menor é oriunda das sobras no refeitório (17%). Esses dados evidenciam que uma parcela significativa do desperdício ocorre antes que os alimentos sejam servidos aos consumidores, destacando a importância de estratégias para otimizar o manejo e reduzir desperdícios durante o preparo.

Tabela 2 – Origem dos Resíduos Sólidos de Restaurante

Origem	**Massa (kg)**			**%**
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	
Preparo	43,75	51,00	73,15	83%
Refeitório	21,00	0,80	11,45	17%
Total	64,75	51,80	84,60	100%

Fonte: Autores (2025)

Esses dados são consistentes com o estudo de Peruchin *et al.* (2013) que identificou que no preparo são gerados a maior parte dos resíduos, sendo que 99,81% são matéria orgânica, predominando resíduos como cascas, restos de vegetais e outros resíduos facilmente degradáveis. A alta proporção de resíduos orgânicos tanto no preparo quanto no total de resíduos gerados sugere uma oportunidade significativa de melhoria no gerenciamento desses resíduos.

A elevada proporção de matéria orgânica nos resíduos destaca seu potencial como fonte de biomassa, com grande viabilidade para con-

versão em energia, conforme apontado por diversos estudos (CLERCQ *et al.*, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2020; KUCZMAN *et al.*, 2018). Isso contribuiria para prolongar a vida útil dos aterros sanitários, além de minimizar os custos operacionais associados ao transporte e à disposição final. Processos como a digestão anaeróbia, que produz biogás, ou a compostagem, que resulta em adubo orgânico, apresentam-se como alternativas sustentáveis para o manejo desses resíduos em estabelecimentos gastronômicos, promovendo tanto a redução de impactos ambientais quanto o aproveitamento energético.

Conforme apresentado na Tabela 3, a geração per capita de resíduos sólidos nos três períodos analisados teve uma média de 0,27 kg/pessoa/dia, valor que está alinhado aos observados em estudos semelhantes. Carneiro *et al.* (2010) reportaram uma geração de 0,234 kg/pessoa/dia no restaurante universitário da UFRN, enquanto Albertoni (2013) registrou 0,2811 kg/pessoa/dia no restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que serve aproximadamente 400 refeições no almoço.

Tabela 3 – Geração Per Capita

Coleta	Massa (kg)	Refeições	Geração per capita (kg/pessoa.dia)
1	72,70	267	0,27
2	62,30	281	0,22
3	96,55	293	0,33

Fonte: Autores (2025)

Na última coleta, foi registrado o maior volume de resíduos, totalizando 96,55 kg, no entanto houve aumento no número de refeições servidas (293 refeições) em comparação às coletas anteriores. Isso resultou em uma geração per capita de 0,33 kg/pessoa/dia, indicando que o aumento na quantidade total de resíduos está relacionado, em parte, ao maior número de refeições servidas.

Conclusão

A análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no restaurante universitário permitiu identificar a predominância de matéria orgânica putrescível (86,9%), alinhando-se a estudos semelhantes em estabelecimentos de alimentação coletiva. A maior proporção de resíduos orgânicos foi gerada durante o preparo das refeições (83%),

evidenciando o desperdício significativo nesta etapa do processo. A separação dos resíduos por origem (preparo e refeitório) aponta para oportunidades de intervenção na etapa de preparação.

A geração per capita média de resíduos foi de 0,27 kg/pessoa/dia nos três períodos analisados, consistente com valores presentes na literatura. O maior volume total de resíduos (96,55 kg) foi observado na terceira coleta, acompanhado por um aumento no número de refeições servidas, resultando em uma geração per capita de 0,33 kg/pessoa/dia. Isso destaca a influência do número de refeições na geração de resíduos.

Referências

ALBERTONI, Tais Andrea. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO. 2013. 77 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

AZEVEDO, Afonso R. G. de *et al*. Characterization of solid waste of restaurant and its energy generation potential: case study of niterói, rj, brazil. Biomass Conversion And Biorefinery, v. 12, n. 7, p. 2477-2486, 4 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasilia: MMA, 2022. 209 p.

CARNEIRO, Cláudia Maria Leite *et al*. Diagnóstico dos resíduos sólidos produzidos no restaurante universitário da UFRN. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. Anais [...] . São Carlos: Abepro, 2010. p. 1-13.

CLERCQ, Djavan de *et al*. Biomethane production potential from restaurant food waste in megacities and project level-bottlenecks: a case study in beijing. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 1676-1685, jun. 2016.

CORRÊA, Margareth da Silva; LANGE, Liséte Celina. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DE REFEIÇÃO COLETIVA. Pretexto, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 29-54, jan. 2011.

DE CONTO, S. M. *et al.* Geração de resíduos sólidos em um meio de hospedagem da Região Uva e Vinho no estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. Anais [...] Rio de Janeiro: ABES, 2009.

FORNER, Júlia Wanner; DE CONTO, Suzana Maria. GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE UM RESTAURANTE EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 1, p. 255-272, 20 abr. 2020.

KUCZMAN, Osvaldo *et al*. Food waste anaerobic digestion of a popular restaurant in Southern Brazil. Journal Of Cleaner Production, v. 196, p. 382-389, set. 2018.

MASSUGA, Flavia *et al*. A sustentabilidade no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: um estudo em restaurantes no município de Irati, PR. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 58, p. 886-910, 16 dez. 2021.

PERUCHIN, Bianca *et al*. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM RESTAURANTE ESCOLA. Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 1, p. 13-23, jun. 2013.

SILVA, Elisângela Maria da *et al*. Estimativa da geração e composição gravimétrica dos resíduos sólidos da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 13, n. 1, p. 66, 1 jan. 2018.

SILVA, Laiane Ferreira da; SOARES, Brenda Silva; ROSSONI, Hygor Aristides Victor. Composição gravimétrica e produção per capita de resíduos sólidos gerados no restaurante da Universidade Federal de Viçosa – Campus Florestal. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 9, p. 133-144, 22 ago. 2021.

ZARO, Marcelo (org.). Desperdício de Alimentos: velhos hábitos, novos desafios. Caxias do Sul: Educs, 2018. 417 p.

Evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior em Urussanga/SC, Brasil (1985 a 2023)

Carlyle Torres Bezerra de Menezes[1], Graziela Elias Zehnder[2], Sabrina Baesso Cadorin[3], Simoni Daminelli Vieira[4], Ana Paula de Matos[5].
[1]UNESC – ProFor Águas /UNESC (cbm@unesc.net)
[2]ProFor Águas /UNESC (graziezehnder@gmail.com)
[3]ProFor Águas /UNESC (sabrinabaessocadorin@gmail.com)
[4]UNESC/ProFor Águas (simoni.daminelli@unesc.net)
[5]UNESC/ProFor Águas (mattos@unesc.net)

Resumo: As formas de uso do solo desempenham um papel essencial na dinâmica hídrica, afetando diretamente tanto a quantidade quanto a qualidade da água em uma bacia hidrográfica. A sub-bacia do Rio Maior se destaca como área estratégica dentro da bacia do Rio Urussanga, especialmente para preservação ambiental e reservação hídrica para abastecimento. Conhecer a situação do uso e ocupação do solo e seu histórico ao longo do tempo, além de refletir a dinâmica das atividades socioeconômicas, é fundamental para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos. Neste estudo, foi analisada a evolução do uso e ocupação do solo com dados do projeto MapBiomas para os anos de 1985, 2004 e 2023. Nesse período, alguns usos antrópicos se tornaram mais significativos em 2004 e reduziram em 2023, o que está relacionado à criação da APA do Rio Maior e à luta da comunidade pela proteção ambiental. O uso mais expressivo nos três anos foi "Formação Florestal", representando mais de 50% da área da sub-bacia. A mineração, inexistente em 1985, aumentou ao longo do período analisado, refletindo o crescimento da extração de diabásio e argila na região. O estudo destaca a importância desta sub-bacia para a segurança hídrica, mas ressalta que, para garantir a qualidade da água, é necessário cumprir a legislação ambiental e realizar ações concretas, como a recuperação de áreas de preservação permanente (APPs), elaboração e execução de planos de manejo das unidades de conservação e a implantação de programas como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Palavras-chave: Uso do Solo. Rio Maior. Recursos Hídricos.

Evolution of land use and occupation in the Maior River sub-basin in Urussanga/SC, Brazil (1985 to 2023)

Abstract: Land use forms play an essential role in water dynamics, directly affecting both the quantity and quality of water in a river basin. The Rio Maior

sub-basin stands out as a strategic area within the Urussanga River basin, especially for environmental preservation and water reserve for supply. Knowing the situation of land use and occupation and its history over time, in addition to reflecting the dynamics of socioeconomic activities, is essential for more effective management of water resources. In this study, the evolution of land use and occupation was analyzed with data from the MapBiomas project for the years 1985, 2004 and 2023. During this period, some anthropogenic uses became more significant in 2004 and reduced in 2023, which is related to the creation of the Rio Maior APA and the community's fight for environmental protection. The most significant use in the three years was "Forest Formation", representing more than 50% of the sub-basin area. Mining, which was non-existent in 1985, increased over the period analyzed, reflecting the growth in diabase and clay extraction in the region. The study highlights the importance of this sub-basin for water security, but emphasizes that, in order to guarantee water quality, it is necessary to comply with environmental legislation and carry out concrete actions, such as the recovery of permanent preservation areas (APPs), the preparation and execution of management plans for conservation units, and the implementation of programs such as Payment for Environmental Services (PES).

Key words: Land Use. Rio Maior. Water Resources.

Introdução

As bacias hidrográficas, além de serem unidades territoriais que envolvem os meios físicos e biológicos, também são espaços de ocupação humana, nos quais as sociedades transformam e adaptam o meio ambiente para atender às suas necessidades (Adami e Cunha, 2014). Essa dinâmica de uso e ocupação do solo influencia diretamente a qualidade dos recursos hídricos, a biodiversidade e os processos ecológicos, tornando essencial o seu monitoramento ao longo do tempo (Tucci, 2008). As transformações no uso do solo podem impactar significativamente a disponibilidade e a qualidade da água de uma bacia hidrográfica. O aumento da impermeabilização do solo, a remoção da vegetação nativa e o uso intensivo do solo resultam em efeitos como a intensificação do escoamento superficial, a erosão e a contaminação dos cursos d'água por sedimentos e poluentes (Silva *et al*., 2013).

Estudos de séries históricas associados às ferramentas de monitoramento permitem observar a rapidez das mudanças na cobertura do solo e suas implicações ambientais, especialmente no que se refere à perda de recursos naturais. A partir da detecção dessas alterações por meio do mapeamento, torna-se possível gerar conhecimento essencial para a proposição de políticas públicas voltadas à gestão ambiental (Brito & Prudente, 2005).

No contexto dessas transformações, a sub-bacia do rio Maior, localizada no município de Urussanga, Santa Catarina, destaca-se como uma área estratégica para a gestão dos recursos hídricos, devido à sua relevância ambiental. Inserida na bacia hidrográfica do rio Urussanga, apresenta a particularidade de ser o único afluente não impactado diretamente pela mineração carbonífera, um problema histórico da região. Além disso, desempenha um papel essencial como reserva hídrica, sendo acionada em períodos de estiagem para complementar o abastecimento da população, que atualmente depende principalmente do rio Vermelho, situado fora do município de Urussanga (Sutil *et al*., 2019).

A sub-bacia do rio Maior está inserida em uma Área de Proteção Ambiental (APA), conforme estabelecido pela Lei Municipal nº 1.665, de 27 de novembro de 1998. A criação da APA teve como principais objetivos a conservação dos remanescentes de mata aluvial e dos recursos hídricos, a melhoria da qualidade de vida da população residente por meio da orientação das atividades econômicas locais, o incentivo ao turismo ecológico, à educação ambiental e à pesquisa científica, além da proteção do patrimônio cultural e arquitetônico rural e das espécies ameaçadas de extinção (Urussanga, 1998).

Contudo, passados 21 anos desde a criação da APA, a ausência de medidas concretas de gestão pode ter favorecido processos de degradação, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos e do equilíbrio ecológico da região. Diante desse contexto, o presente estudo visa analisar a evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior no período de 1985 a 2023, fornecendo subsídios para futuras ações de conservação e gestão sustentável dos recursos hídricos locais.

O estudo foi desenvolvido pela Entidade Executiva do Comitê do rio Urussanga, ProFor Águas, vinculada a Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). A execução das ações contou com recursos provenientes do Edital de Chamada Pública FAPESC nº 32/2022 – Programa de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas de Santa Catarina, além do projeto Diagnóstico e Estudo de Alternativas para a Reconversão Socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, contemplado pelo Edital de Chamada Pública FAPESC nº 15/2021.

Materiais e Métodos

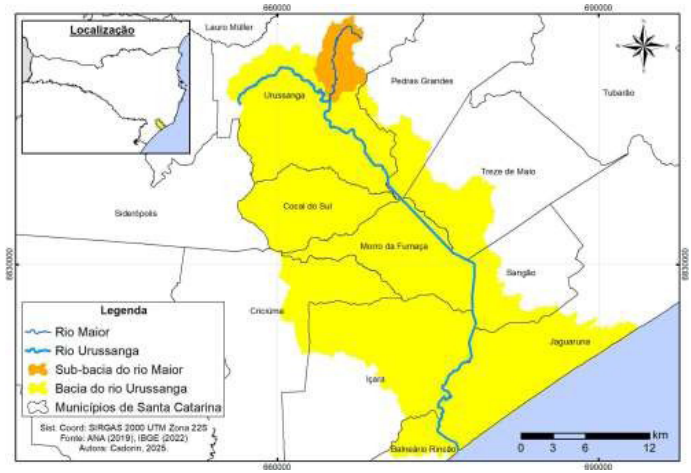
A metodologia empregada envolveu a revisão de dados secundários provenientes de estudos anteriores e bases cartográficas, além da realização de levantamentos em campo para validação das informações. Os mapas de uso e ocupação do solo foram gerados com base no projeto MapBiomas, uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite e bases de dados (Souza *et al.*, 2020), complementados por dados de instituições como a Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA). Técnicas de geoprocessamento, utilizando o software QGIS 3.28.11, foram empregadas para a elaboração dos mapas temáticos e caracterização da área.

A complementação desses dados foi realizada por meio de trabalho de campo, que envolveu reconhecimento e verificação *in loco* do uso e ocupação do solo atual. Esse passo validou informações, identificou nuances não captadas por métodos remotos e destacou áreas prioritárias para intervenção.

Área de estudo

A sub-bacia do rio Maior está situada entre as coordenadas 28º 26’ 11’’ e 28º 30’ 29’’ S e 49º 16’ 50’’ a 49º 20’ 00’’ O e ocupa 11,7% da área total do município de Urussanga/SC (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da localização da sub-bacia do rio Maior.



Fonte: Cadorin, 2025.

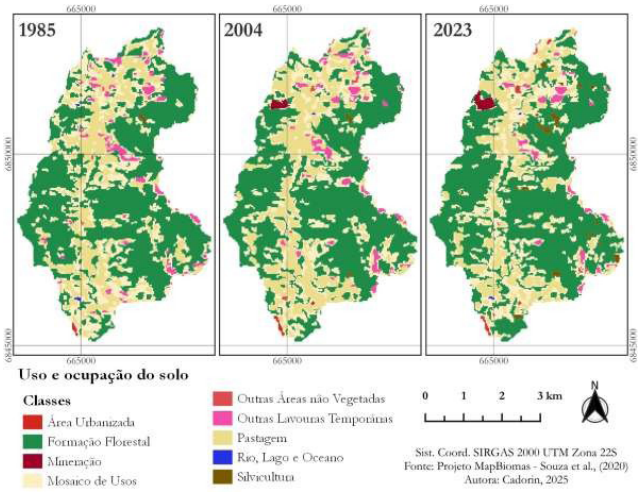
A área total da sub-bacia é de 24,28 km², com um perímetro de 39.497 km e um comprimento total de 10.152 km. O rio principal se estende por 15.498 km, enquanto a variação altimétrica registrada é de 409 m, e a declividade média atinge 0,255 m/m. No contexto hídrico, a sub-bacia apresenta alta densidade de drenagem, com 354 trechos de cursos d'água. Segundo o sistema de classificação proposto por Strahler (1957), a hidrografia da sub-bacia é de ordem 4. Essa configuração hidrológica reflete-se na sua importância estratégica para o abastecimento público e a preservação ambiental (Back *et al.*, 2016).

A região apresenta uma geologia diversificada, com terrenos pré-cambrianos pertencentes à Suíte Intrusiva Pedras Grandes na porção leste, enquanto sedimentos permianos do Gondwana, incluindo a Formação Rio do Sul, predominam em outras áreas. Embora esteja na depressão da zona carbonífera catarinense, essa área não possui condições favoráveis para ocorrência de depósitos de carvão, sendo o extrativismo mineral representado pelas minerações de diabásio e argila (Silva, 1998).

Resultados

A análise da evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior entre 1985 e 2023 indica variações na distribuição de classes de uso ao longo do período analisado (Figura 2).

Figura 2 – Evolução do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior, anos 1985, 2004 e 2023.



Fonte: ProFor Águas, elaborado por Cadorin, 2025.

A Tabela 1 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo nos anos de 1985, 2004 e 2023, permitindo uma análise comparativa das mudanças ocorridas ao longo dos anos. Com base nesses dados, foi possível identificar tendências de crescimento ou redução de determinadas classes, avaliar possíveis impactos ambientais decorrentes dessas variações, bem como as relações entre o aumento e a redução das diferentes categorias de uso do solo.

Tabela 1 – Comparação do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Maior nos anos de 1985, 2004 e 2023

Usos do Solo	1985		2004		2023	
	Área (km²)	%	Área (km²)	%	Área (km²)	%
Formação Florestal	13,188	54,3%	13,074	53,8%	13,773	56,7%
Mosaico de Usos	5,438	22,4%	4,716	19,4%	5,448	22,4%
Pastagem	4,660	19,2%	5,447	22,4%	3,939	16,2%
Outras Lavouras Temporárias	0,916	3,8%	0,803	3,3%	0,534	2,2%
Silvicultura	0,024	0,1%	0,042	0,2%	0,304	1,3%
Mineração	0,000	0,0%	0,092	0,4%	0,155	0,6%
Área Urbanizada	0,025	0,1%	0,048	0,2%	0,084	0,3%
Outras Áreas não Vegetadas	0,014	0,1%	0,064	0,3%	0,039	0,2%
Rio, Lago e Oceano	0,025	0,1%	0,005	0,0%	0,013	0,1%
Total	**24,290**	**100,0%**	**24,290**	**100,0%**	**24,290**	**100,0%**

Fonte: ProFor Águas Unesc, elaborado a partir de dados do MapBiomas.

A formação florestal, a classe de maior cobertura do solo desde 1985, com mais de 50% da área total, apresentou um aumento no decorrer dos anos. Esse crescimento pode estar diretamente relacionado à criação da APA em 1998, bem como à luta da comunidade do rio Maior contra os impactos ambientais decorrentes da mineração de diabásio/basalto, iniciadas em 2002. O engajamento comunitário nesse processo demonstra uma crescente consciência ambiental e um forte

senso de pertencimento ao território, impulsionando a busca por práticas mais sustentáveis e pelo respeito às normas de proteção ambiental. A mobilização popular e as demandas por maior fiscalização podem ter contribuído para a implementação de medidas de recuperação da vegetação, limitando a expansão de atividades degradantes e promovendo a regeneração natural e o reflorestamento na área da sub-bacia. (Nascimento & Bursztyn, 2012).

No que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP), estudos como de Sutil *et al.*, 2019, constatou que 35,63% da área total da sub-bacia corresponde a essas zonas de proteção, sendo 27,94% APPs de cursos d'água e 7,69% APPs de nascentes. Entretanto, muitas dessas áreas encontram-se degradadas ou com cobertura vegetal insuficiente, comprometendo sua função ecológica de proteção dos recursos hídricos e prevenção da erosão.

O mosaico de usos, por sua vez, apresentou pequenas variações ao longo do tempo, e permanece como segunda maior classe de uso e ocupação do solo. Isso sugere que, apesar das mudanças em outras classes, a diversidade de usos na paisagem foi mantida. A área destinada à pastagem também ocupa uma grande área da sub-bacia, apesar de ter reduzido entre os períodos de 2004 a 2023. Essa variação pode estar associada a mudanças nas dinâmicas produtivas, com uma possível transição no uso do solo. A bovinocultura de corte, presente em várias propriedades como atividade secundária, tem um papel relevante nesse contexto, pois é comum a criação de gado para consumo próprio (Sutil, 2018). De acordo com os mapas analisados, estas áreas de pastagens estão concentradas principalmente em regiões próximas ao percurso do rio, o que pode indicar uma busca por melhores condições de acesso à água para o gado. Essa situação pôde ser visualizada no campo, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Propriedade com criação de gado às margens do rio Maior



Fonte: ProFor Águas, 2023.

Já a classe de uso de outras lavouras temporárias incluirá um declínio contínuo ao longo das décadas, reduzindo-se de 3,8% em 1985 para 2,2% em 2023, comportamento que pode estar relacionado às mudanças nas práticas agrícolas, à redução das políticas econômicas ou à transição para culturas perenes. A silvicultura, por outro lado, mostrou um crescimento expressivo, saindo de uma participação quase insignificante de 0,1% em 1985 para 1,3% em 2023. Esse resultado está atrelado possivelmente a investimentos em reflorestamento comercial e iniciativas de sustentabilidade externas à recuperação ambiental.

A mineração, inexistente em 1985, começou a ser registrada em 2004 com 0,4% da área e expandiu-se para 0,6% em 2023, evidenciando o crescimento da atividade extrativa de diabásio e argila na região. Essa expansão contraria os objetivos da APA e pode comprometer a qualidade ambiental da sub-bacia (Pereira, 2016).

Por fim, a urbanização apresentou um crescimento progressivo ao longo do período analisado. Esse crescimento, embora modesto em termos absolutos, reflete a gradual expansão da infraestrutura e da ocupação humana na região, concentrando-se principalmente na foz do rio Maior, em direção ao centro do município de Urussanga. Outras áreas não vegetadas também sofreram variações, refletindo mudanças na ocupação do solo, como expansão urbana e infraestrutura.

Considerações Finais

As mudanças do uso e ocupação do solo são determinantes para a qualidade ambiental e a disponibilidade hídrica de uma região, tornando essencial o monitoramento contínuo dessas transformações. Os dados obtidos confirmam a importância da sub-bacia do rio Maior para a conservação dos recursos hídricos regionais, mas também evidenciam desafios significativos relacionados ao uso inadequado do solo e às pressões antrópicas. A criação da APA do rio Maior representou um marco na tentativa de conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental, no entanto, a ausência de um plano de manejo compromete a eficácia da gestão ambiental, tornando fundamental a sua elaboração e implementação.

O monitoramento sistemático do uso do solo é uma ferramenta fundamental para embasar ações de gestão e planejamento ambiental. A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento permite identificar tendências e avaliar impactos, e com isso fornecer subsídios para a implementação de estratégias de conservação e uso sustentável do território (Brito & Prudente, 2005).

Diante deste cenário, como principais recomendações, destaca-se a necessidade de fortalecimento da legislação ambiental local, a implementação de programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) para incentivar a recuperação das APPs e a ampliação do monitoramento ambiental na região. A promoção do turismo ecológico e de práticas agrícolas sustentáveis também são medidas fundamentais para garantir a compatibilidade entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Por fim, reforça-se a necessidade de integração entre poderes públicos, iniciativa privada e sociedade civil na gestão e revitalização da sub-bacia do rio Maior, garantindo que suas águas permaneçam como um recurso vital para a região.

Nesse contexto, a Agenda 2030 da ONU que estabelece metas globais para a sustentabilidade por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), orienta políticas e ações para minimizar os impactos ambientais e promover a resiliência dos ecossistemas. A conservação da sub-bacia do rio Maior está diretamente alinhada aos ODS 6 (Água potável e saneamento), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (Vida terrestre), pois envolve tanto a proteção dos recursos hídricos quanto a adoção de

práticas sustentáveis de uso do solo. Integrar tais diretrizes aos instrumentos de planejamento e gestão ambiental é essencial para assegurar um desenvolvimento equilibrado, reforçando a importância de políticas públicas eficazes e do engajamento de múltiplos atores na governança ambiental.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESC pelo suporte financeiro e institucional, viabilizado por meio da Chamada Pública 15/2021, bem como pela parceria estabelecida com as ações do Projeto Profor Águas, Chamada Pública 32/2022 – FAPESC em colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Economia Verde (SEMAE). Esse apoio foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo, possibilitando a realização das pesquisas e a ampliação do conhecimento sobre a temática abordada.

Referências

ADAMI, R. M.; CUNHA, Y. M. **Caderno do educador ambiental das bacias dos rios Araranguá e Urussanga.** Blumenau: Fundação Agência da Água do Vale do Itajaí, 2014. 137p.

BACK, A. J.; Ladwig, N. I.; Schwalm, H.; Matos, H.; Pereira, J. R. 2016, Características morfométricas da bacia hidrográfica relacionadas à erosão hídrica. In.: Poleto, Cristiano. **Hidrossedimentologia.** Editora Interciência. v. 1, p 10-30.

BRITO, J.L.S., Prudente, T.D., 2005. Temporal analises of land use and vegetation cover in Uberlândia-MG (BRAZIL), using satellity ETM+/LANDSAT 7 images. **Sociedade & Natureza** 17,37-46. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/3213/321327186004.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

NASCIMENTO, D. T. do; BURSZTYN, M. A. A. Análise de conflitos socioambientais: o caso da comunidade rural de Rio Maior, município de Urussanga, Santa Catarina. **Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 157-177, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271162850_Analise_de_conflitos_socioambientais_o_caso_da_comunidade_rural_de_Rio_Maior_municipio_de_Urussanga_Santa_Catarina. Acesso em: 14 fev. 2025.

PEREIRA, J. R. **Caracterização hidrológica como ferramenta de análise ambiental da APA do Rio Maior.** 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

SILVA, E. B.; FERREIRA, L. G.; ANJOS, A. F.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola e a mudança de uso e cobertura da terra no centrosul de Goiás, entre 1975 e 2010. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n.2, p. 116-138, 2013. Disponível em: https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/15660/15102. Acesso em: 13 fev. 2025.

SILVA, V. R. **Caracterização física e sócio-econômica da microbacia do rio Maior, Urussanga – SC.** 1998. 103 f. Tese (Doutorado) – Curso de Curso de Mestrado em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

SOUZA et. al. (2020) – Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735.

SUTIL, Thaise. **Diagnóstico Socioambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Maior, Urussanga, SC.** Dissertação (Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, pg.162, 2018.

SUTIL, T.; LADWIG, N. I.; BACK, A. J.; CONTO, Danrlei De. Diagnóstico físico, socioeconômico e socioambiental do território da área de proteção ambiental (APA) do Rio Maior – Santa Catarina – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 04, p. 1583-1599, nov/2019.Disponívelem: https://www.researchgate.net/publication/339108818_ESTRUTURA_DA_PAISAGEM_NA_ BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RIO_MAIOR. Acesso em: 13 fev. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

URUSSANGA (Município). Constituição (1998). **Lei nº 1.665, de 27 de novembro de 1998.** Cria área de Proteção Ambiental do Rio Maior e Dá Outras Providências. 1. Ed. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a1/sc/u/urussanga/lei-ordinaria/1998/166/1665/lei-ordinaria-n-1665-1998-cria-area-de-protecao-ambiental-do-rio-maior-revoga-a-lei-n-1170-89-e-da-outras-providencias. Acesso em: 13 fev. 2025.

Segurança Hídrica e Adaptação Climática: Uma Abordagem Integrada no Sul de Santa Catarina

Ana Paula de Matos[1], Carlyle Torres Bezerra de Menezes[2], José Carlos Virtuoso[3], Mhaiandry Benedetti Rodrigues Mathias[4], Graziela Elias Zehnder[5]

[1]UNESC/ProFor Águas (mattos@unesc.net)
[2]UNESC/ProFor Águas(cbm@unesc.net)
[3]UNESC/ProFor Águas(jcv@unesc.net)
[4]ProFor Águas/UNESC(mhayforest@gmail.com)
[5]ProFor Águas /UNESC (graziezehnder@gmail.com)

Resumo: A segurança hídrica e a adaptação climática no sul de Santa Catarina são objeto central deste trabalho, com destaque para a importância da cooperação entre os Comitês de Bacias Hidrográficas e os municípios na gestão sustentável da água. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei nº 9.433/1997) estabeleceu um marco regulatório, mas sua efetividade depende da integração com políticas locais. A região enfrenta desafios ambientais significativos, como desmatamento, fragilidades no saneamento básico e impactos da mineração e agricultura, exigindo estratégias sustentáveis e participativas. O estudo destaca a atuação dos Comitês das Bacias do sul catarinenses no fomento à discussão e formulação de políticas de segurança hídrica e adaptação climática. Nos projetos desenvolvidos pelos Comitês em 2023 e 2024, foram mobilizados nove municípios para a formulação de políticas hídricas locais, promovendo um diálogo direto com os poderes executivo e legislativo, por meio de reuniões para sensibilização e apresentação da proposta. Iniciativas como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), regulamentado pela Lei nº 14.119/2021, também têm sido discutidas para a conservação ambiental e benefício das comunidades locais. Nessa perspectiva, a governança adaptativa é apontada como essencial para enfrentar os desafios futuros, garantindo flexibilidade na gestão das águas diante das incertezas climáticas. A colaboração interinstitucional, o fortalecimento da legislação municipal e a educação ambiental são estratégias cruciais para promover a resiliência climática e a segurança hídrica. As experiências analisadas na pesquisa demonstram que abordagens integradas, aliadas à participação social, podem contribuir significativamente para a segurança hídrica e adaptação climática da região.

Palavras-chave: Governança Hídrica, Pagamento por Serviços Ambientais, Resiliência Climática

Water Security and Climate Adaptation: An Integrated Approach in Southern Santa Catarina

Abstract: Water security and climate adaptation in southern Santa Catarina are the central focus of this study, emphasizing the importance of cooperation between Watershed Committees and municipalities in the sustainable management of water. The National Water Resources Policy (PNRH, Law No. 9.433/1997) established a regulatory framework, but its effectiveness depends on integration with local policies. The region faces significant environmental challenges, such as deforestation, weaknesses in basic sanitation, and the impacts of mining and agriculture, requiring sustainable and participatory strategies. The study highlights the role of the Watershed Committees in southern Santa Catarina in promoting discussion and shaping water security and climate adaptation policies. In the projects developed by the Committees in 2023 and 2024, nine municipalities were mobilized to formulate local water policies, fostering direct dialogue with executive and legislative branches through awareness meetings and proposal presentations. Initiatives such as the Payment for Environmental Services (PES), regulated by Law No. 14.119/2021, have also been discussed for environmental conservation and the benefit of local communities. From this perspective, adaptive governance is seen as essential for addressing future challenges, ensuring flexibility in water management in the face of climate uncertainties. Interinstitutional collaboration, the strengthening of municipal legislation, and environmental education are key strategies to promote climate resilience and water security. The experiences analyzed in this research show that integrated approaches, combined with social participation, can significantly contribute to water security and climate adaptation in the region.**

Keywords: Water Governance, Payment for Environmental Services, Climate Resilience

Introdução

A segurança hídrica é uma prioridade global crescente, especialmente em um contexto no qual a emergência climática, a degradação ambiental e a gestão ineficiente das águas impõem desafios sem precedentes. Segundo a ONU (2013), a segurança hídrica refere-se à capacidade de assegurar a disponibilidade, qualidade e gestão sustentável das águas para atender às necessidades humanas, socioeconômicas e ambientais. No Brasil, o marco jurídico estabelecido pela Lei nº 9.433/1997 – a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – é um exemplo de legislação avançada, que preconiza a gestão descentralizada e participativa das águas (Brasil, 1997). Contudo, a aplicação efetiva dessa política ainda enfrenta desafios significativos, especialmente em territórios com vulnerabilidades ambientais e sociais, como as bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina.

O Sul de Santa Catarina, composto pelas regiões hidrográficas RH09 e RH10, abriga quatro importantes bacias hidrográficas, as dos rios Tubarão e Complexo Lagunar, Urussanga, Araranguá, além dos afluentes catarinenses do Rio Mampituba (Santa Catarina, 2018). Essas bacias apresentam uma diversidade de ecossistemas, comunidades e atividades econômicas que exercem pressões substanciais sobre os recursos hídricos, incluindo o desmatamento de áreas de preservação permanente (APPs), a poluição de origem industrial e doméstica e os impactos da mineração (Menezes *et al*., 2019; Menezes & Carola, 2011). Esses fatores comprometem não apenas a qualidade e disponibilidade da água, mas também a resiliência dos ecossistemas locais frente aos eventos climáticos extremos.

A proteção das águas está intrinsecamente conectada à conservação de remanescentes florestais, especialmente em áreas protegidas como nascentes e APPs. As florestas desempenham funções ecohidrológicas fundamentais, incluindo regulação do ciclo da água, controle de erosão e redução de sedimentos nos corpos hídricos (Lima *et al*., 2013). Assim, a conservação e restauração de ecossistemas não são apenas necessárias, mas essenciais para garantir a disponibilidade hídrica e mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Em resposta a esses desafios, os Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas (CBHs) do sul de Santa Catarina têm desempenhado um papel essencial na promoção da governança das águas e na articulação entre diferentes esferas de governo, usuários de água e a sociedade civil. Iniciativas como diagnósticos ambientais, identificação de áreas prioritárias para conservação e restauração ecológica, além da capacitação de seus membros em Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) foram adotadas pelos Comitês. Esse aprimoramento ocorre por meio de formações e visitas técnicas, proporcionando um embasamento teórico e prático para a implementação de ações mais eficazes. Paralelamente, os Comitês têm se engajado ativamente na formulação e no debate de políticas públicas locais, reforçando a importância da gestão integrada e participativa das águas para garantir a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental da região.

Neste sentido, a integração de programas como o PSA tem se mostrado uma ferramenta eficaz. Essa abordagem não apenas incentiva a conservação dos recursos naturais, mas também contribui para a resiliência das comunidades frente aos impactos climáticos (Vilela, 2023). O

PSA reforça a articulação entre instrumentos de governança adaptativa para a conservação, produção de serviços ecossistêmicos, promovendo benefícios ambientais, econômicos e sociais.

Essas necessidades vêm impulsionando debates sobre modelos de gestão mais dinâmicos, como a governança adaptativa climática, destacada por diversos estudiosos como uma alternativa para enfrentar os impactos da emergência climática sobre os recursos hídricos (Dietz, Ostrom e Stern, 2003; Dessai *et al*., 2004; Adger *et al*., 2005). A governança adaptativa climática representa uma abordagem inovadora, dinâmica e flexível para a gestão de bens naturais, especialmente a água, com o objetivo de enfrentar de maneira eficaz os desafios impostos pela emergência climática e promover resiliência para as populações. Esse modelo de governança fundamenta-se na aprendizagem contínua, na colaboração entre múltiplos atores e capacidade de ajustar políticas e estratégias conforme novas informações e cenários emergem, garantindo maior resiliência frente às incertezas climáticas (Dietz; Ostrom; Stern, 2003; Folke *et al*., 2005).

No âmbito da gestão das águas, a governança adaptativa desempenha um papel crucial na redução de vulnerabilidades e na promoção de soluções sustentáveis para mitigar os impactos climáticos. Em regiões como o sul de Santa Catarina, caracterizadas pela predisposição a eventos climáticos extremos, com as enchentes (Santa Catarina, 2017, 2017a), torna-se imprescindível adotar um modelo de gestão integrado, que combine conhecimento científico, saberes locais e participação social. Essa abordagem possibilita a formulação de políticas mais eficazes e adaptáveis, permitindo ajustes contínuos de acordo com a evolução das condições ambientais e climáticas, considerando as incertezas (Adger; Vincent, 2005).

Nessa perspectiva, os aprendizados adquiridos nos territórios das bacias hidrográficas do sul catarinense demonstram que a colaboração intersetorial e a construção de um arcabouço legal robusto são essenciais para enfrentar os desafios da segurança hídrica e da adaptação climática de forma eficaz e sustentável. A adoção de soluções integradas e a promoção de parcerias locais são os pilares para garantir a proteção das águas e a resiliência das populações no longo prazo.

Governança Local e Adaptação Climática

A governança das águas no Brasil tem evoluído por meio dos CBHs, que atuam como instâncias participativas de planejamento e gestão. No entanto, a integração entre diferentes níveis de governança ainda apresenta desafios significativos. No sul de Santa Catarina, os Comitês dos rios Tubarão e Complexo Lagunar, Urussanga e Araranguá e Afluentes do Mampituba têm desenvolvido projetos estruturados para alinhar as diretrizes nacionais e estaduais às especificidades locais, com o objetivo de promover a segurança hídrica e a adaptação climática.

A emergência climática tem impactado diretamente a disponibilidade de recursos hídricos, o que exige modelos de gestão mais adaptáveis e flexíveis. A relação entre água e clima é indissociável, demandando abordagens integradas que considerem as incertezas e a variabilidade dos eventos climáticos.

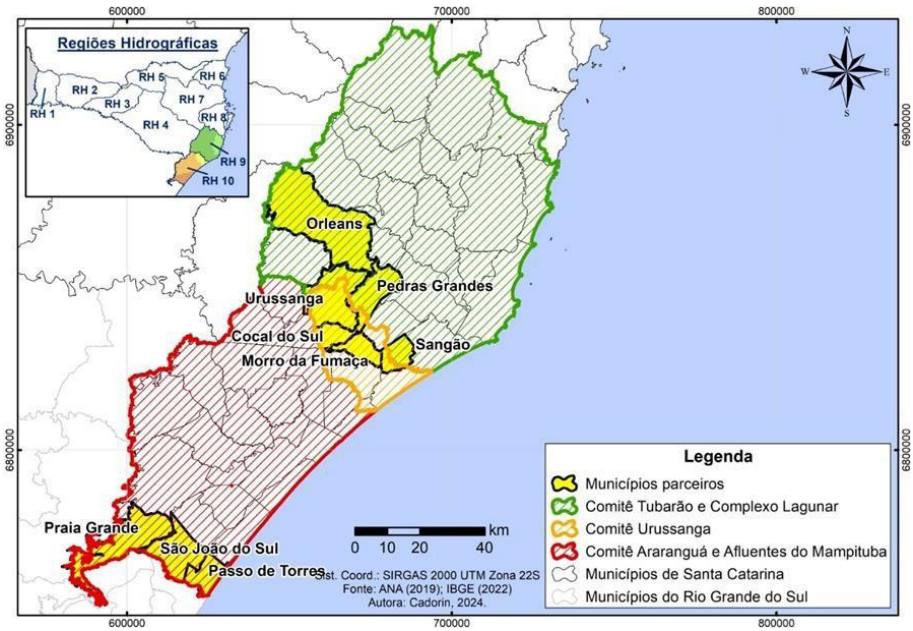
A segurança hídrica depende do equilíbrio entre disponibilidade e demanda de água, sendo fortemente influenciada pelas condições climáticas e pela eficiência na gestão das águas. No sul catarinense, a vulnerabilidade dos sistemas hídricos à eventos climáticos extremos, como as cheias, acentua os desafios, tornando essencial o fortalecimento de estratégias de gestão que garantam o acesso equitativo e sustentável à água potável.

Nesse contexto, a governança adaptativa surge como uma alternativa para enfrentar desafios crescentes na segurança hídrica. Este estudo analisa a atuação dos Comitês do sul de Santa Catarina no que se refere ao fortalecimento da governança local, cujas características climáticas refletem as de outras regiões, permitindo ampliar e contribuir com as reflexões para territórios similares.

Neste sentido, a atuação dos Comitês têm sido efetiva na mobilização para a formulação de políticas locais de segurança hídrica e adaptação climática, promovendo um diálogo direto com os poderes executivo e legislativo municipais. Assim, a estratégia adotada envolveu reuniões com prefeitos, vereadores, secretários e técnicos das áreas de meio ambiente, agricultura, defesa civil e saneamento, visando sua adesão à projetos como esse, que não impactam financeiramente os municípios. O projeto em questão foi intitulado como “Política Municipal de Segurança Hídrica e Adaptação Climática” desenvolvido nos territórios das três bacias hidrográficas. Entre os nove municípios mapeados

para execução do projeto, que são Orleans na bacia do Rio Tubarão; Cocal do Sul e Morro da Fumaça na bacia do Rio Urussanga; e Passo de Torres, São João do Sul e Praia Grande na bacia do rio Mampituba (afluentes catarinenses), seis aderiram prontamente às iniciativas, fortalecendo a governança das águas regional (Figura 1) .

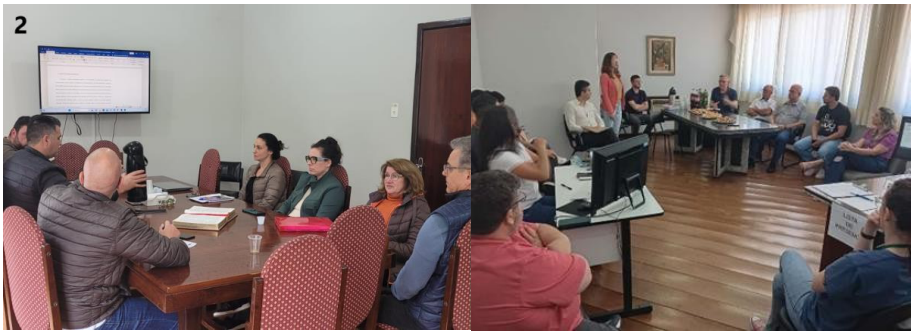
Figura 1 – Mapa de Localização dos Municípios e território de abrangência dos Comitês.



Fonte: Profor Águas Unesc, elaborado por Cadorin, 2024.

O processo de mobilização estendeu-se aos poderes executivo, legislativo e à sociedade civil, através dos Conselhos Municipais de Meio Ambiente (COMDEMAs) e os próprios Comitês, promovendo maior participação nas decisões sobre a gestão das águas. Em municípios como Urussanga e Orleans, as propostas de projeto de lei foram aprovadas pelos COMDEMAs e encaminhadas às Câmaras de Vereadores. Orleans destacou-se ao sancionar, em dezembro de 2024, sua Política Municipal de Segurança Hídrica e Gestão das Águas.

Figuras 2 (Urussanga) e 3 (Orleans) – Reunião de apresentação do projeto de "Política Municipal de Segurança Hídrica e Adaptação Climática" aos membros dos COMDEMAs.



Fonte: Acervo Profor Águas, 2023 e 2024.

Figuras 4 (Praia Grande) e 5 (Passo de Torres) – Reunião de apresentação do projeto de "Política Municipal de Segurança Hídrica e Adaptação Climática" aos membros do legislativo municipal.



Fonte: Acervo Profor Águas, 2024.

Figura 6: Apresentação na Câmara municipal de vereadores de Urussanga – PL da Política Municipal de Segurança Hídrica e Adaptação Climática pelo vereador José Carlos.



Fonte: Acervo Profor Águas, 2023.

Figuras 7 – Votação do Projeto de Lei Política Municipal de Segurança Hídrica e Gestão das Águas na Câmara Municipal de Orleans. e 8 – Comemoração da aprovação da lei com a presença do presidente do Comitê Tubarão e Complexo Lagunar.



Fonte: Acervo ProFor Águas UNESC, 2024.

Apesar dos avanços, desafios políticos e administrativos, como mudanças de gestão e ciclos eleitorais, dificultaram a continuidade de algumas iniciativas. A equipe técnica ProFor Águas UNESC, da qual os autores deste trabalho fazem parte, teve um papel central na mobilização e articulação para a aprovação da lei de Política Hídrica no município de Orleans e apresentação na câmara de vereadores de Urussanga, que no entanto ainda não foi votada. O engajamento nas reuniões técnicas e diálogos constantes com gestores municipais, representantes de órgãos ambientais e conselhos municipais, além da propensão pretérita do município de Orleans, com vistas à mitigação dos efeitos das alterações climáticas, inclusive com leis municipais em vigor, foi possível construir um ambiente favorável para a aprovação da legislação. Além disso, foram realizadas reuniões com municípios que já adotaram políticas hídricas bem-sucedidas, proporcionando aos tomadores de decisão uma visão mais ampla sobre os impactos positivos da regulamentação. A mobilização popular, através dos COMDEMAs e dos próprios Comitês e pela participação local ativa dos envolvidos no processo em cada munícipio, garantiu que a pauta ambiental fosse priorizada na agenda política local.

Deste modo, estratégias como a implementação de Política locais de Segurança Hídrica e Adaptação Climática, que poderão embasar outras conseguintes, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), continuam em discussão para incentivar práticas conservacionistas como a restauração ecológica e sistemas agroflorestais. Capacitações, visitas técnicas e colaboração de organizações ambientais com experiência em

projetos e programas na área, têm sido fundamentais para sensibilizar os tomadores de decisão e consolidar um modelo de gestão adaptativa, participativa e sustentável dos recursos hídricos, preparando o território para futuras ações estruturadas de conservação das águas.

Considerações Finais

Considerando os argumentos expostos, podemos afirmar que o trabalho contribui diretamente para a implementação dos ODS 6 – Água Potável e Saneamento, ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis e ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima ao abordar questões essenciais como segurança hídrica, adaptação climática, fortalecimento da governança e participação social na proteção dos bens naturais, em especial a água. A abordagem integrada e intersetorial proposta reforça a necessidade de políticas públicas sustentáveis para promover resiliência e adaptação climática pela conservação ambiental.

No entanto, a gestão integrada dos recursos hídricos para adaptação climática só será efetiva mediante a colaboração entre diferentes níveis de governança adaptativa. Experiências diversas no Brasil demonstram que programas de conservação dos serviços ecossistêmicos, como o PSA, aliados à conservação, proteção e restauração ecológica, têm o potencial de transformar territórios em modelos de resiliência climática (Coelho *et al*, 2021).

Para avançar, é essencial fortalecer a capacitação técnica, ampliar o arcabouço legal municipal e ampliar a conscientização da sociedade civil. Esses esforços poderão garantir a proteção dos recursos hídricos e a redução da vulnerabilidade climática para as futuras gerações.

No sul de Santa Catarina, programas de PSA estão na agenda futura dos Comitês e da gestão pública de alguns municípios, com o intuito de integrar a restauração de áreas degradadas e a proteção de nascentes e APPs. Essas iniciativas que, se levadas a efeito, promovem benefícios diretos para a segurança hídrica e reduzem a vulnerabilidade climática. Estudos apontam que a implementação do PSA, desde que seja pautado pelos princípios da ética climática, pode diminuir desigualdades socioeconômicas e fomentar práticas sustentáveis (Salmi *et al*., 2023).

A restauração ecológica é uma ferramenta essencial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e proteger os recursos hídricos. A recuperação de nascentes e a manutenção da vegetação em APPs têm se

mostrado eficazes para aumentar a infiltração de água e reduzir a erosão do solo (Lima *et al*., 2013).

Os Comitês têm promovido capacitações e parcerias com a Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) através do ProFor Águas, para incentivar a adoção de técnicas de manejo conservacionista, como reuso de água e restauração ecológica. Projetos bem-sucedidos, como o "Conservador de Águas", em Extrema/MG e o Conservação das Araucárias, da Apremavi, em Atalanta/SC, além do Programa "Produtor de Águas", em Camboriú/SC, servem de inspiração para ampliar a adoção de boas práticas na região. A colaboração dos gestores dessas experiências tem sido essencial para sensibilização dos gestores públicos e membros dos Comitês, ao compartilhar erros e acertos na implementação de políticas hídrica e PSA.

No entanto, o avanço dessas iniciativas depende do fortalecimento da capacidade técnica, do aprimoramento contínuo do arcabouço legal municipal e do engajamento da sociedade civil, para além dos COMDEMAs e Comitês. Somente assim será possível garantir a proteção das águas, garantindo a segurança hídrica e reduzindo a vulnerabilidade climática para as futuras gerações.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), por meio do suporte financeiro e institucional viabilizado pela Chamada Pública nº 15/2021 e pela Chamada Pública nº 32/2022, esta última em parceria com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da Economia Verde (SEMAE) à qual somos especialmente gratos. Agradecemos, ainda, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio à formação acadêmica de parte dos autores, bolsistas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). As contribuições dessas instituições foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para o aprofundamento do conhecimento na temática da governança das águas e adaptação climática.

Referências

ADGER, W. N.; VINCENT, K. Uncertainty in adaptive capacity. C. R. Geoscience, v. 337, p.399410, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br. Acesso em: 23 jan. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Disponível em: https://www.planalto.gov.br. Acesso em: 23 jan. 2025.

COELHO, N. R.; GOMES, A. da S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B.. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro,v.26,n.3,p.409-415,maio/jun.2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/KYdQZCSVWYDK8Sg7vSpCPvQ/. Acesso em: 24 de setembro de 2024.

DESSAI, S. *et al.* Defining and experiencing dangerous climate change. Climatic change, v. 64, n. 1,p. 11-25, 2004.

DIETZ, T.; OSTROM, E.; STERN, P. Struggle to Govern the Commons. Science, v. 302, n. 5652, p. 1907-1912, 2003.

FOLKE, C. *et al.* Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. Annual Review of Environment and Resources, v. 30, n. 1, p. 441–473, 2005.

LIMA, W. de P.; FERRAZ, S. F. de B.; FERRAZ, K. M. P. M. Interações eco-hidrológicas na paisagem. Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

MENEZES, C. T. B.; CAROLA, C. R. A política da modernização, a legislação igno-rada e a degradação socioambiental da indústria carbonífera (1930 a 1970). In: CARO-LA, Carlos Renato (Org.). Memória cultura do carvão em Santa Catarina: impactos sociais e ambientais. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2011, p. 196-218.

MENEZES, C. T. B.; CENI, G.; MARTINS, M. C.; VIRTUOSO, J. C. Percepção de impactos socioambientais e a gestão costeira: estudo de caso em uma comunidade de pescadores no litoral Sul de Santa Catarina, Brasil. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. v.8, p.457-481 – 481, 2019.

SALMI, Frederico; CANOVA, Moara Almeida; PADGURSCHI, Maíra C. G. Ética climática, (in)justiças e limitações do Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil. São Paulo, v. 26, 2023. Artigo Original. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210123r2vu2023L2AO.

SANTA CATARINA. Resolução Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), Nº 26, de 20 de agosto de 2018. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/mvs/conselho/resolucao/Resolucao_CERH_n_026_divisao_hidrografica_estadual.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025.

SANTA CATARINA. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC, 2017. RH9–SulCatarinense.Disponívelem: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_a/PERH_SC_RH9_ CERTI-CEV_2017_final.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025.

SANTA CATARINA. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC, 2017. RH10–ExtremoSulCatarinense.Disponívelem: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_a/PERH_SC_RH10_CERTI-CEV_2017_final.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025.

UN – UNITED NATIONS. What is water security? Infographic. New York: UN, 8 May 2013. Disponível em: https://www.unwater.org/publications/what-water-security-infographic. Acesso em: 16 fev. 2025.

VILELA, S. L. de O. (2023). O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em uma visão panorâmica: contribuições ambientais, econômicas e sociais. Raízes: Revista De Ciências Sociais E Econômicas, 43(2), 348–365. https://doi.org/10.37370/raizes.2023.v43.845

Condições de saneamento básico (eixos água e esgoto) e sua relação com a saúde nos estados brasileiros

Suzana Maria De Conto[1], Raquel Finkler[2], Helena Wartha Bolzon[3]
[1] Universidade de Caxias do Sul (smcmande@ucs.br)
[2] Centro Universitário da Serra Gaúcha (rfinkler1@hotmail.com)
[3] Universidade de Caxias do Sul (hwbolzon@ucs.br)

Resumo: O estudo busca descrever sobre condições de saneamento (eixos água e esgoto) dos estados brasileiros e suas relações com a incidência de internações e óbitos por doenças de veiculação hídrica. Para tal, a fonte de consulta de dados de saneamento e de saúde foi o Painel Saneamento Brasil (2025) do Instituto TrataBrasil, que disponibiliza dados do SNIS de 2022 e do DATASUS de 2022. A coleta das informações dos estados brasileiros foi no dia 14 de janeiro de 2025. Os dados foram inicialmente organizados em planilhas Excel e posteriormente em tabelas. Os dados apontam que o estado do Amapá apresenta a menor parcela da população total que mora em domicílios com acesso à água tratada e a maior parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto. O Maranhão destaca-se com a maior taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento. A partir das informações disponibilizadas no Painel Saneamento Brasil, as condições precárias de saneamento não refletem, proporcionalmente, nas condições de saúde em todos os estados brasileiros. Os dados do presente estudo sugerem uma relação entre a existência da infraestrutura para coleta de esgoto e a incidência de doenças de veiculação hídrica.

Palavras-chave: Saneamento básico. Saúde. Doenças de veiculação hídrica.

Basic sanitation conditions (water and sewage) and their relationship with health in Brazilian states

Abstract: The study seeks to describe sanitation conditions (water and sewage) in Brazilian states and their relationship with the incidence of hospitalizations and deaths due to water-borne diseases. To this end, the source of consultation for sanitation and health data was the Brazil Sanitation Panel (2025) from the TrataBrasil Institute, which provides data from the 2022 SNIS and 2022 DATASUS. Information from Brazilian states was collected on January 14, 2025. The data was initially organized in Excel spreadsheets and later in tables. The data indicate that the state of Amapá has the smallest portion of the total population that lives in households with access to treated water and the largest portion of the total population that lives in households without access to sewage collection services. Maranhão stands out with the highest incidence rate of hospitalizations for diseases associated with lack of sanitation. Based on

the information available in the Brazil Sanitation Panel, precarious sanitation conditions do not reflect, proportionally, on health conditions in all Brazilian states. The data from the present study suggest a relationship between the existence of infrastructure for sewage collection and the incidence of waterborne diseases.

Key words: Basic sanitation. Health. Waterborne diseases.

Introdução

A saúde da população é condicionada por uma série de fatores, conhecidos como determinantes sociais da saúde (DSS), que são conceituados como o "conjunto de acontecimentos, fatos, situações e comportamentos da vida econômica; social; ambiental; política; governamental; cultural e subjetiva que afetam positiva ou negativamente a saúde de indivíduos; segmentos sociais; coletividades e populações e territórios" (Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Araouca, 2025).

Os DSS se configuram como fatores que impactam nos resultados da saúde, ou seja, as condições nas quais os indivíduos vivem e o conjunto de variáveis que moldam as condições da vida e exerce influência nas desigualdades na saúde. Entre os determinantes, pode-se listar: renda e proteção social, educação, insegurança alimentar, acesso aos serviços de saúde, habitação, meio ambiente, entre outros (World Health Organization, 2025).

Para Buss e Pellegrini Filho (2007), o principal desafio para o entendimento sobre as relações entre DSS e saúde é estabelecer uma hierarquia entre os fatores mais gerais como os sociais, econômicos e políticos e como tais fatores podem incidir sobre a situação de saúde de grupos e pessoas, uma vez que não apresentam uma relação direta causa-efeito. Os autores exemplificam indicando que não há uma correlação constante entre macroindicadores de riqueza, como o Produto Interno Bruto – PIB, e os indicadores de saúde.

Entre os modelos propostos para a compreensão entre os DSS e a incidência e mortalidade de doenças, destaca-se o de Dalgren e Whitehead, sendo que este foi o adotado pela Comissão Nacional sobre Determinantes Sociais da Saúde (Paim; Almeida-Filho, 2023). Neste modelo são inclusas as condições socioeconômicas, culturais e ambientais (macrodeterminantes), as redes sociais e comunitárias, o estilo de vida dos indivíduos e as variáveis idade, sexo e fatores hereditários (Moreira; Arcari; Coutinho, 2018), conforme apresentado na Figura 1.

Entre as variáveis do modelo constam água e esgoto, que integram o saneamento básico.

Figura 1 – Modelo de Dalgren e Whitehead



Fonte: Paim e Almeida-Filho (2023, p. 343)

Heller (1998) comenta que os modelos que associam abastecimento de água e esgotamento sanitário visam compreender a complexidade dessa relação explicando a influência nos indicadores específicos ou nas medidas mais abrangentes de saúde (mortalidade infantil e expectativa de vida).

A infraestrutura de saneamento se configura como equipamentos públicos essenciais para garantir a conservação ambiental e a saúde coletiva da população. A definição de saneamento básico é apresentada na Lei Federal nº 14.026 (Brasil, 2020) como:

> conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:
> a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
> b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua

> destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
> c)limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
> d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes. (Brasil, 2020).

Ainda, conforme a Lei Federal nº 14.026 (Brasil, 2020), está prevista a universalização do saneamento, dando acesso ao conjunto de infraestrutura até 31 de dezembro de 2033.

O acesso à água em qualidade e quantidade suficientes e a coleta e o tratamento de esgotos sanitários apresentam uma estreita relação com o campo da saúde coletiva e contribuem para a redução da disseminação de doenças.

Nesse contexto, o objetivo do estudo é descrever sobre condições de saneamento (eixos água e esgoto) dos estados brasileiros e suas relações com a incidência de internações e óbitos por doenças de veiculação hídrica.

Metodologia

O estudo, de caráter exploratório e descritivo, busca descrever condições de saneamento (água e esgoto) dos estados brasileiros e suas relações com a economia e as doenças de veiculação hídrica, que podem ser associadas à falta de saneamento. Para tal, a fonte de consulta de dados de saneamento e de saúde foi o Painel Saneamento Brasil (2025) do Instituto TrataBrasil, que disponibiliza dados do SNIS de 2022 e do DATASUS de 2022. A coleta das informações de todos os estados brasileiros foi no dia 14 de janeiro de 2025. Os dados foram inicialmente organizados em planilhas *Excel* e posteriormente em quadros.

As informações obtidas no Painel Saneamento Brasil (2025) foram: a) Parcela da população com acesso à água: parcela da população total que mora em domicílios com acesso à água tratada; b) Parcela da população sem coleta de esgoto: parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto; c)

Índice de esgoto tratado referido à água consumida: razão entre volume de esgoto tratado e o volume de água consumida; d) Incidência de internações totais por doenças de veiculação hídrica: taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento e e) Taxa de óbitos por doenças de veiculação hídrica: taxa de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total.

De acordo com a Nota Técnica 5 do Painel Saneamento Brasil (TrataBrasil, 2025), foram consideradas para as estatísticas sobre doenças de veiculação hídrica: doenças gastrointestinais infecciosas (cólera, febres tifoide e paratifoide, shiguelose, amebíase, diarreia e gastroenterite); febre amarela; dengue (dengue clássico e febre hemorrágica); leptospirose, malária e esquistossomose.

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta dados sobre o acesso pela população à água tradada e à coleta e tratamento de esgoto e saúde nos estados brasileiros no ano de 2022.

A partir da análise da Tabela 1, destaca-se que em âmbito nacional, o Distrito Federal (DF) apresenta a maior parcela da população total que mora em domicílios com acesso à água tratada e a menor parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto. Além disso, o DF possui o maior índice de esgoto tratado referido à água consumida.

O estado do Amapá (AP) apresenta a menor parcela da população total que mora em domicílios com acesso à água tratada e a maior parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto. Ainda em âmbito nacional, o menor índice de esgoto tratado referido à água consumida está no estado do Acre.

O Maranhão destaca-se com a maior taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento. Porém, a maior taxa de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total é apresentada no estado de Roraima (RR), sendo que a menor taxa recai para o RJ e AC. A menor taxa de incidência de internações por doenças associadas à falta de saneamento é apresentada no estado de São Paulo (SP).

Para os indicadores referentes a parcela da população com acesso à água e a parcela da população sem coleta de esgoto, percebe-se uma

relação entre eles. Para as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, os estados de AP, MA, ES e MT, respectivamente, com menor índice de pessoas com acesso à água, também apresentam a maior parcela sem coleta de esgoto. Esta correlação não é evidenciada para a Região Sul, onde o estado do Rio Grande do Sul tem a menor parcela da população com acesso à água e Santa Catarina possui a maior parcela da população sem coleta de esgoto.

Tabela 1 – Indicadores de saneamento (eixos água e esgoto) e de saúde para os estados brasileiros no ano de 2022

Saneamento (eixos água e esgoto)				**Saúde**	
Variável	Parcela da população com acesso à água[1]	Parcela da população sem coleta de esgoto[1]	Índice de esgoto tratado referido à água consumida[1]	Incidência de internações totais por doenças de veiculação hídrica[2]	Taxa de óbitos por doenças de veiculação hídrica[2]
Unidade	%	%	**%**	Internações por 10 mil habitantes	Óbitos por 10 mil habitantes
Brasil	84,20	44,50	52,20	9,43	0,11
			Norte		
Rondônia	55,90	91,10	9,80	29,83	0,15
Acre	48,00	89,50	0,70	12,52	0,05
Amazonas	79,60	85,80	20,20	14,39	0,14
Roraima	79,40	34,50	81,30	16,55	0,28
Pará	51,10	91,50	8,70	21,77	0,13
Amapá	46,90	94,60	14,20	7,17	0,06
Tocantins	94,10	64,20	32,30	11,92	0,11
			Nordeste		
Maranhão	56,60	87,30	14,10	44,33	0,12
Piauí	70,30	81,30	18,80	21,78	0,19
Ceará	70,30	70,40	36,60	12,39	0,14
Rio Grande do Norte	78,40	70,30	29,80	7,75	0,10
Paraíba	74,80	61,10	38,70	11,27	0,18
Pernambuco	85,70	66,20	30,10	6,26	0,21
Alagoas	76,60	80,50	14,80	5,75	0,12

Sergipe	91,60	65,30	38,10	7,07	0,08
Bahia	79,70	58,80	48,80	7,94	0,13
Sudeste					
Minas Gerais	83,80	23,80	43,70	5,57	0,11
Espírito Santo	83,40	40,50	44,50	6,68	0,10
Rio de Janeiro	89,10	35,00	54,80	3,72	0,05
São Paulo	95,10	9,50	71,40	3,69	0,09
Sul					
Paraná	96,30	23,60	75,90	9,54	0,10
Santa Catarina	89,60	70,90	34,80	7,49	0,12
Rio Grande do Sul	87,70	64,20	26,60	6,73	0,13
Centro-oeste					
Mato Grosso do Sul	85,80	42,00	50,10	13,56	0,13
Mato Grosso	83,90	61,20	40,90	12,10	0,07
Goiás	89,00	37,00	60,30	16,71	0,18
Distrito Federal	99,00	7,70	82,00	11,89	0,08

Legenda: 1 – SNIS (2022); 2– DATASUS (2022), dados obtidos de Painel Saneamento Brasil (2025) Fonte: elaborado pelas autoras (2025)

Com relação ao acesso aos serviços de água tratada e as doenças de veiculação hídrica, não são muito claras as associações entre as variáveis. Tem-se que SE (Região Nordeste) e PR (Região Sul), são os estados com maior parcela da população com acesso à água e que apresentam as menores taxas de óbitos por doenças de veiculação hídrica. Já para SP (Região Sudeste) e DF (Região Centro-Oeste), observa-se que apresentam a maior parcela da população com acesso à água e, ao mesmo tempo, possuem a menor incidência total de internações de doenças de veiculação hídrica. Ainda, na Região Nordeste (MA) e na Região Sudeste (ES), os estados com menor parcela da população com acesso à água tratada são aqueles com maior incidência total de internações de doenças de veiculação hídrica.

Pelos dados, pode-se inferir que o acesso à água, que engloba a disponibilização de infraestrutura de saneamento, permite que a população realize, mais facilmente, as rotinas de higiene de alimentos e pessoal, podendo impactar na minimização da incidência de internações por

doenças de veiculação hídrica. Neste sentido, Correia *et al.* (2021) ponderam que a falta de saneamento e a deficiência de políticas públicas, resultam em prejuízos para a população. Os autores seguem afirmando que nas últimas décadas, o Brasil vem desenvolvendo políticas para vigilância da água, porém estas não têm a abrangência necessária, possivelmente pela falta de articulação entre as diferentes esferas de vigilância em saúde no país, em especial em municípios com menos recursos financeiros.

Barros *et al.* (2024) constataram em seus estudos que o acesso à água tratada não se correlaciona isoladamente com uma redução significativa das internações por doenças gastrointestinais. Além de fornecer acesso à água, deve-se disponibilizar água de qualidade e livre de contaminantes.

Sobre a parcela da população sem a coleta de esgoto e as doenças de veiculação hídrica, também não são claras as relações existentes. Pode-se verificar que para a Região Sudeste (SP), assim como a Região Centro-oeste (DF), os estados com menor parcela de população sem acesso à coleta de esgoto, possuem as menores incidências de internações totais por doenças de veiculação hídrica. Por sua vez, os estados com maior parcela da população sem acesso à coleta de esgoto, para a Região Nordeste (MA) e Região Sudeste (ES), têm as maiores incidências de internações totais por doenças de veiculação hídrica.

Ainda, a análise do índice de esgoto tratado referido à água consumida e dos indicadores sobre veiculação hídrica, da mesma forma que para as demais avaliações, não indicam correlações. Entretanto, foi possível verificar que para a Região Sudeste (SP) e Centro-oeste (DF), os estados com maiores índices de esgoto tratado apresentam menores incidências de internações totais por doenças de veiculação hídrica. Além disso, na Região Sudeste (MG) e Região Sul (RS), tais estados possuem menores índices de esgoto tratado referido à água consumida e maiores incidências de internações totais por doenças de veiculação hídrica.

Os dados do presente estudo sugerem uma relação entre a existência da infraestrutura para coleta de esgoto e a incidência de doenças de veiculação hídrica. Barros *et al.* (2024) evidenciaram que o acesso aos serviços de coleta de esgoto está fortemente associado a uma redução nas internações por doenças relacionadas à falta de saneamento. A partir das informações disponibilizadas no Painel Saneamento Brasil,

as condições precárias de saneamento não refletem, proporcionalmente, nas condições de saúde em todos os estados brasileiros.

Considerações gerais

Estudos no campo da epidemiologia evidenciam as relações que são estabelecidas entre o campo do saneamento e da saúde, sendo importante acompanhar os dados relacionados ao saneamento básico e às doenças de veiculação hídrica disponibilizados anualmente pelos municípios no Sinisa e Datasus.

Considera-se importante dar maior visibilidade aos dados anuais relacionados às condições de saneamento e aos indicadores de incidências de doenças de veiculação hídrica de cada município brasileiro. Recomenda-se, portanto, que a divulgação dos dados seja realizada também nas plataformas dos governos municipais, possibilitando fácil acesso à população.

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

Referências

BARROS, E. E. F.; SOUSA, F. R. B.; NETO, O. G. de A.; SILVA, D. L. M. da *"Índices de* distribuição de água e esgoto e sua relação com as doenças de veiculação hídrica: estudo de caso no município de Russas". **Revista Observatório de la Economia Latinoamericana**, v. 22, n. 12, 2024, pg. 01-20. DOI: 10.55905/oelv22n12-025

BRASIL. **Lei Federal nº 14026 de 15 de julho de 2020**. Novo Marco do Saneamento. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.

BUSS, P. M.; PELLEGRINI FILHO, A. "A saúde e seus determinantes sociais". **Revista Saúde Coletiva**, v. 17, n. 1, 2007, p. 77-93. Disponível em: https://www.scielo.br/j/physis/a/msNmfGf74RqZsbpKYXxNKhm/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 5 fev. 2025.

CORREIA, C. V.; HUSZCZ, G. B.; PAES, B. de A.; SANTOS, A. G. E. dos; MARTENS, L. B. "Doenças de veiculação hídrica e seu grande impacto no Brasil: consequência de alterações climáticas ou inficiência de políticas públicas". **Brazilian Medical Students Journal**, v. 5, n. 8, 2021. DOI: 10.53843/bms.v5i8.100.Disponívelem: https://bms.ifmsabrazil.org/index.php/bms/article/view/100 Acesso em: 5 fev. 2025.

ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA SERGIO AROUCA. O que é DSS. 2025. Disponível em: https://dssbr.ensp.fiocruz.br/dss-o-que-e/. Acesso em: 16 jan. 2025.

HELLER, L. *"Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento".* **Revista Ciência & SaúdeColetiva**,v.3,n.2,1998,p.73-84.DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-81231998000200007

MOREIRA, C.; ARCARI, M.; COUTINHO, O. R. **Saúde Coletiva**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. *E-book.*

PAIM, J. S.; ALMEIDA-FILHO, N de. **Saúde Coletiva:** teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Medbook, 2023. *E-book.*

Painel Saneamento Brasil 2022. 2025. Disponível em: https://www.painelsaneamento.org.br/. Acesso em: 14 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Social determinants of health. 2025. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1. Acesso em: 16 jan. 2025.

Impactos da Mineração de Carvão na Qualidade da Água do Rio Urussanga/SC, Brasil: Diagnóstico e Desafios para a Gestão Sustentável

Carlyle Torres Bezerra de Menezes[1], Graziela Elias Zehnder[2], Sabrina Baesso Cadorin[3], Simoni Daminelli Vieira[4], Mhaiandry Benedetti Rodrigues Mathias[5]

[1]UNESC/ProFor Águas (cbm@unesc.net)
[2]ProFor Águas/UNESC (graziezehnder@gmail.com)
[3]ProFor Águas/UNESC (sabrinabaessocadorin@gmail.com)
[4] UNESC/ProFor Águas (simoni.daminelli@unesc.net)
[5]ProFor Águas/UNESC (mhayforest@gmail.com)

Resumo: A bacia hidrográfica do Rio Urussanga, no sul de Santa Catarina, Brasil, sofre severos impactos nos recursos hídricos, principalmente devido à atividade de mineração de carvão. Apesar dos impactos ambientais já conhecidos, a atividade carbonífera ainda é forte na região, com um grande número de solicitações de concessão para extração, o que intensifica os desafios para a gestão dos recursos hídricos. Dimensionar a escala destes impactos nos cursos d'água é essencial para subsidiar estratégias de recuperação e gestão sustentável dos recursos hídricos. Com esse objetivo o presente estudo apresenta o diagnóstico da qualidade da água do Rio Urussanga, principal rio da bacia hidrográfica. Foram realizadas campanhas de amostragem nos meses de abril, agosto e setembro/2024, abrangendo quatro pontos representativos ao longo do rio. Os resultados apontam para uma qualidade da água severamente comprometida, especialmente devido à presença de metais pesados como ferro e manganês, elevados níveis de sólidos dissolvidos e acidez extrema. O pH da água permaneceu abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, evidenciando a influência da Drenagem Ácida de Mina (DAM). O estudo destaca a necessidade de ações urgentes para recuperação da água, além da ampliação do monitoramento e fortalecimento da legislação ambiental. A mobilização comunitária e a participação de entes públicos e privados são fundamentais para a recuperação ambiental da bacia hidrográfica.
O estudo foi realizado com apoio da FAPESC, através da chamada pública 15/2021 em parcerias com ações do Projeto Profor Águas, chamada pública 32/2022 – FAPESC.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Rio Urussanga. Impactos Ambientais.

Impacts of Coal Mining on the Water Quality of the Urussanga River/SC, Brazil: Diagnosis and Challenges for Sustainable Management

Abstract: The Urussanga River basin, in southern Santa Catarina, Brazil, suffers severe impacts on water resources, mainly due to coal mining activities and deficient environmental sanitation. Despite the known environmental impacts, coal mining activity is still strong in the region, with a large number of requests for extraction concessions, which intensifies the challenges for water resource management. Measuring the scale of these impacts on watercourses is essential to support strategies for recovery and sustainable management of water resources. With this objective, this study presents the diagnosis of the water quality of the Urussanga River, the main river in the basin. Sampling campaigns were carried out in April, August and September/2024, covering four representative points along the river. The results indicate severely compromised water quality, especially due to the presence of heavy metals such as iron and manganese, high levels of dissolved solids and extreme acidity. The pH of the water remained below the limits established by CONAMA Resolution 357/2005, evidencing the influence of Acid Mine Drainage (AMD). The study highlights the need for urgent actions to recover the water, in addition to expanding monitoring and strengthening environmental legislation. Community mobilization and the participation of public and private entities are essential for the environmental recovery of the river basin. The study was carried out with the support of FAPESC, through public call 15/2021 in partnership with actions of the Profor Águas Project, public call 32/2022 – FAPESC.

Key words: Water Quality. Urussanga River. Environmental Impacts.

Introdução

Por se tratar de um recurso indispensável à sobrevivência humana, a todas as formas de vida e às atividades econômicas, a qualidade da água passou a ser prioridade em discussões referentes à gestão hídrica. No Brasil, uma parcela significativa das águas superficiais encontra-se comprometida devido à poluição e à degradação ambiental (ANA, 2021). Esse cenário não é distinto na bacia do Rio Urussanga, que possui um histórico de degradação com mais de um século de impactos negativos sobre os recursos hídricos regionais, devido principalmente à mineração de carvão. Essa atividade tem deixado um legado de passivos ambientais no sul de Santa Catarina, onde os impactos persistem mesmo após a implementação de normativas ambientais na década de 1970 (Menezes & Waterhemper, 2009; Ravazolli, 2013; Menezes *et al,* 2019).

Um dos aspectos mais críticos da atividade mineradora e o beneficiamento do carvão é a geração de drenagem ácida de mina (DAM), que compromete solos, lençóis freáticos e cursos d'água superficiais. Esse processo ocorre quando minerais sulfetados, como a pirita (FeS_2), entram em contato com oxigênio e água, desencadeando reações químicas que produzem ácido sulfúrico. Esse ácido dissolve metais presentes no solo, favorecendo sua dispersão e contaminação de ecossistemas aquáticos. Os corpos d'água afetados por esse fenômeno geralmente apresentam elevada concentração de sulfato e pH reduzido, o que altera a dinâmica geoquímica dos metais e intensifica os danos ambientais. A DAM é um dos problemas ambientais mais desafiadores, especialmente no que se refere ao seu controle e mitigação. Esse impacto é antigo e persistente, tanto que, em 1980, a região foi classificada como a 14ª Área Crítica Nacional. Décadas depois, os impactos continuam severos, e a qualidade da água na área carbonífera do sul de Santa Catarina permanece entre as piores do estado (Castilhos & Fernandes, 2011; Santa Catarina, 2017; Menezes *et al*,. 2019).

Tal cenário faz com que o Rio Urussanga apresente, em sua origem, condições alarmantes de degradação. O rio nasce da confluência de dois afluentes com características opostas: o Rio Carvão, intensamente impactado pela mineração, e o Rio Maior, um dos poucos mananciais da bacia ainda livre da contaminação carbonífera. A principal razão para essa degradação é o fato de que as nascentes do Rio Carvão, como o próprio nome indica, estão localizadas em áreas de exploração de carvão, onde, no início da atividade mineradora na região, não havia regulamentação ambiental. Como consequência, o Rio Urussanga já se forma com baixos níveis de pH, elevada acidez e altas concentrações de metais como ferro, manganês e sulfatos, atingindo patamares prejudiciais ao meio ambiente (Santa Catarina, 2019; Schnack *et al*., 2018; Volpato *et al*., 2017).Devido a esse intenso comprometimento da qualidade da água desde seu ponto de origem, é comum popularmente dizer que o Rio Urussanga já nasce "morto".

Os desafios relacionados à gestão eficiente dos recursos hídricos tornam-se ainda mais complexos diante dessas problemáticas. Neste contexto, o diagnóstico da qualidade da água constitui um pilar fundamental para a gestão dos recursos hídricos na região. A obtenção de dados atualizados e detalhados sobre os parâmetros físico-químicos permite uma avaliação sistêmica dos impactos ambientais e das

fontes de poluição que afetam os mananciais. Essa análise propicia a caracterização da qualidade dos recursos hídricos e uma base sólida para a formulação de estratégias de manejo e mitigação dos impactos ambientais identificados. Por meio do reconhecimento das fontes de contaminação e da avaliação de sua distribuição espacial e temporal, é possível direcionar recursos e esforços para a implementação de medidas corretivas e preventivas eficazes (Martinelli *et al*., 2014; Menezes *et al*, 2024).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os parâmetros físico-químicos como referência principal para a avaliação da qualidade da água, determinando os Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada indicador em águas superficiais. Entretanto, a aplicação dessas normativas na bacia do Rio Urussanga ainda enfrenta desafios estruturais e institucionais. A ausência de monitoramento contínuo e a falta de integração entre os diferentes níveis de governança são alguns dos obstáculos frequentes, o que reforça a necessidade de ações coordenadas para a gestão eficaz da água. Considerando todos estes aspectos, a execução do projeto de diagnóstico da qualidade da água do Rio Urussanga é um investimento estratégico na construção de uma base de conhecimento sólida para a promoção da sustentabilidade hídrica da região. Nesse sentido, um dos objetivos do estudo foi caracterizar a qualidade das águas do Rio Urussanga, com a obtenção de dados atualizados para o embasamento da tomada de decisão no âmbito da gestão e governança das águas.

Materiais e métodos

Área de estudo

O Rio Urussanga, principal curso d'água que dá nome à bacia hidrográfica, é formado pela confluência dos rios Maior e Carvão, no município de Urussanga, e percorre cerca de 43 km até sua foz, no Oceano Atlântico, na localidade da Praia do Torneiro, em Jaguaruna. A bacia hidrográfica do Rio Urussanga está inserida na Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense (RH10), com uma área de aproximadamente 679 km², correspondente a 0,70% do território estadual (Adami e Cunha, 2014).

O Rio Urussanga percorre 10 municípios: Urussanga, Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Criciúma, Içara, Balneário Rincão, Jaguaruna,

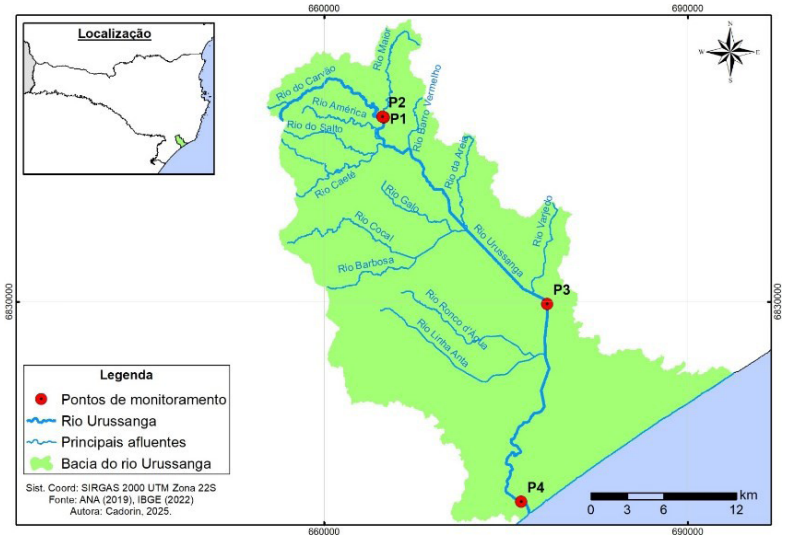
Pedras Grandes, Sangão e Treze de Maio. Ao longo do seu curso o rio recebe afluentes importantes, como os rios América, Caeté, Cocal, Ronco D'Água, Linha Torrens, Linha Anta e Três Ribeirões pela margem direita e os rios Barro Vermelho, Ribeirão da Areia, e Vargedo pela margem esquerda (Santa Catarina, 2019).

Coletas e análises

As campanhas de amostragem foram conduzidas nos meses de abril, agosto e setembro de 2024, com coletas realizadas em quatro pontos estratégicos selecionados ao longo do Rio Urussanga: P1 (28°30'34.05"S, 49°18'53.84"O), localizado na origem do rio, a 100 metros da confluência dos rios Carvão e Maior, no município de Urussanga; P2 (28°30'32.92"S, 49°18'57.07"O), na foz do Rio Carvão, 100 metros a montante da confluência com o Rio Maior, também em Urussanga, onde a coleta foi realizada apenas no mês de abril; P3 (28°38'48.74"S, 49°10'29.18"O), situado em um trecho intermediário do Rio Urussanga, na divisa entre os municípios de Morro da Fumaça e Sangão; e P4 (28°47'39.27"S, 49°11'39.29"O), correspondente à foz do Rio Urussanga, na Praia do Torneiro, em Jaguaruna (Figura 1).

As coletas foram realizadas pela equipe técnica do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), vinculado à UNESC, seguindo protocolos padronizados em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Resolução CONAMA nº 274/2000. As análises laboratoriais, etapa indispensável para a elaboração do diagnóstico, foram viabilizadas pela integração dos recursos provenientes do projeto Diagnóstico e Estudo de Alternativas para a Reconversão Socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina, Brasil, contemplado pelo EDITAL DE CHAMADA PÚBLICA FAPESC Nº 15/2021. Esse edital faz parte do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação de Apoio aos Grupos de Pesquisa da Associação Catarinense das Fundações Educacionais (ACAFE), reforçando a importância do incentivo à pesquisa científica voltada à sustentabilidade e à recuperação ambiental.

Figura 1: Mapa da localização dos pontos de coleta.



Fonte: Profor Águas Unesc, elaborado por Cadorin, 2025.

As amostras foram submetidas a análises laboratoriais para determinar os seguintes parâmetros físico-químicos: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Ferro Total (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Potencial Redox. Os resultados obtidos foram confrontados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Resultados

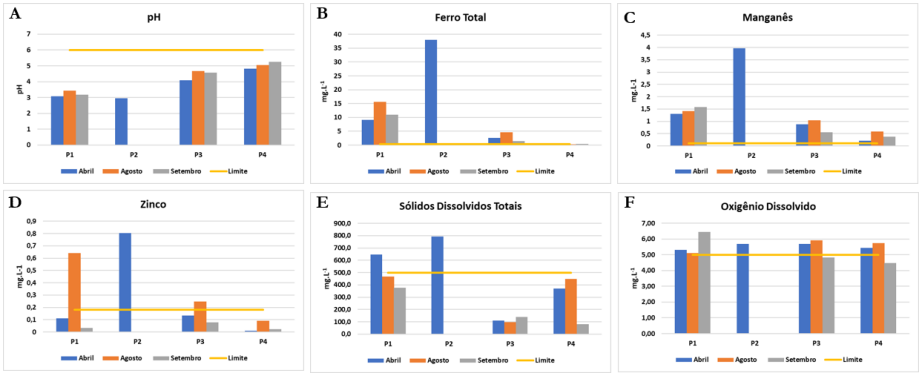
Os resultados das análises de qualidade da água do Rio Urussanga ao longo dos meses de abril, agosto e setembro demonstraram uma expressiva variação nos parâmetros físico-químicos, indicando o impacto significativo das atividades mineradoras na região. Na maioria dos pontos monitorados, os valores ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de classe 2, evidenciando a degradação ambiental do rio.

O pH apresentou valores muito abaixo da faixa permitida (6,0 a 7,0), oscilando entre 2,96 e 5,05, com os menores valores registrados em P1 e P2 (Figura 2 A). A presença de Fe também se mostrou alarmante, especialmente em P2, onde atingiu 37,98 mg/L em abril, um valor 126 vezes maior que o limite permitido de 0,3 mg/L (Figura 2 B). Essa concentração excessiva é reflexo da oxidação da pirita, liberando

metais no ambiente aquático. O Mn seguiu um padrão semelhante, com valores superiores a 1 mg/L em P1 e P2 (Figura 2 C), enquanto o Zn, embora em concentrações menores, também excedeu os limites aceitáveis em diversos pontos (Figura 2 D).

O teor de SDT apresentou elevada variabilidade, sendo mais crítico em abril, com valores de 794 mg/L em P2, ultrapassando o limite de 500 mg/L estipulado pela legislação. Nos demais meses, observou-se uma redução nos SDT, mas ainda assim P1 e P4 permaneceram acima do permitido, sugerindo a influência de fontes persistentes de contaminação (Figura 2 E). A DBO se manteve dentro dos limites em agosto e setembro (<1 mg/L), mas em abril alcançou 6 mg/L em P2, indicando um aumento na carga orgânica e possível contaminação por despejos domésticos e industriais. Já o OD permaneceu relativamente estável, sempre acima de 5 mg/L, o que pode indicar uma certa capacidade de reaeração do rio, apesar das condições adversas (Figura 2 F).

Figura 2 – Parâmetros físico-químicos da água do Rio Urussanga. (A) pH, (B) Fe, (C) Mn, (D) Zn, (E) SDT, (F) OD



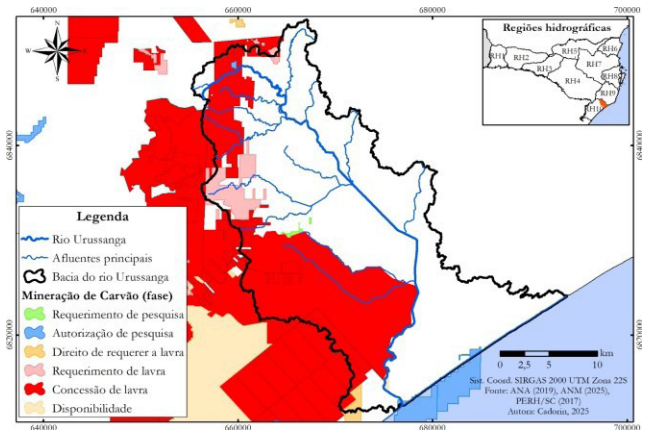
Fonte: ProFor Águas Unesc, elaborado pelos autores, 2025.

Comparando os meses analisados, observa-se que os impactos são mais severos no mês de abril, com P2 apresentando os piores índices de contaminação por metais e acidez. A tendência de melhora em agosto e setembro pode estar relacionada à sazonalidade da região e ao regime de chuvas, que contribui para a diluição dos poluentes. Entretanto, a persistência de valores elevados de ferro, manganês e pH ácido indica que os problemas ambientais da bacia do Rio Urussanga são crônicos e exigem medidas urgentes de recuperação e monitoramento contínuo.

A situação em que se encontra a qualidade da água do Rio Urussanga reflete o intenso processo de degradação ambiental devido à histórica e contínua exploração de carvão, um recurso mineral de grande interesse econômico. Atualmente essa demanda permanece ativa, mesmo diante dos impactos ambientais já consolidados, considerando a expressiva presença de concessões minerárias em diversas fases no território da bacia hidrográfica (Figura 3).

A dificuldade de recuperação dos recursos hídricos está diretamente ligada à persistência dos impactos da mineração, que não se restringem ao período de atividade extrativa. Mesmo após o encerramento das lavras, a DAM pode continuar por décadas, exigindo a implementação de técnicas complexas e de alto custo para a remediação ambiental (Menezes *et al,* 2019). A revegetação, a neutralização química da acidez e o tratamento da água são medidas necessárias, mas muitas vezes negligenciadas ou insuficientes diante da magnitude do problema. Além disso, a falta de fiscalização rigorosa e o incentivo econômico à extração do carvão criam um conflito entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental, retardando ações efetivas para a recuperação da qualidade da água.

Figura 3 – Mapa de áreas de concessão para mineração de carvão na bacia do Rio Urussanga



Fonte: ProFor Águas Unesc, elaborado por Cadorin, 2025.

A qualificação e informação da comunidade local é essencial para uma gestão integrada e participativa dos recursos hídricos, especialmente diante da possibilidade de expansão das atividades carboníferas. Compreender os resultados de diagnósticos ambientais e sua relação

com a saúde da bacia hidrográfica permite à população participar de forma mais ativa e informada em processos decisórios, como audiências públicas e consultas comunitárias. Esse conhecimento fortalece a capacidade dos cidadãos de argumentar com base em dados concretos, contribuindo para decisões que priorizem a conservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade da bacia do Rio Urussanga. Além disso, a capacitação fomenta um senso de pertencimento e responsabilidade, elementos essenciais para uma gestão integrada e participativa dos recursos hídricos (Kersting *et al,* 2023).

Com esse intuito, os resultados foram apresentados aos representantes do Comitê Urussanga durante a capacitação intitulada "Monitoramento e diagnóstico da qualidade da água: um olhar para o Rio Urussanga" (Figura 4).

Figura 4 – Capacitação com membros do Comitê e lideranças comunitárias.



Fonte: Acervo ProFor Águas Unesc, 2024.

O evento realizado no dia 27 de novembro de 2024 na localidade do Rio Maior, em Urussanga, teve como objetivo de fornecer à comunidade as informações sobre o monitoramento da qualidade da água, e contou com a participação de 21 pessoas, incluindo representantes de organizações-membros do Comitê da Bacia do Rio Urussanga e líderes comunitários locais.

Considerações finais

As análises realizadas na bacia do Rio Urussanga evidenciam um cenário crítico de degradação ambiental, diretamente relacionado

à atividade mineradora de carvão. A persistência de parâmetros físico-químicos fora dos limites estabelecidos pela legislação ambiental reforça a necessidade de medidas urgentes para mitigar os impactos sobre os recursos hídricos da região. Diante desse contexto, a continuidade da atividade carbonífera na bacia do Rio Urussanga pode comprometer significativamente os esforços de mitigação dos danos ambientais. Para reverter esse quadro, é necessário um planejamento estratégico que contribua para a elaboração de políticas públicas com vistas à sustentabilidade socioambiental e econômica da região, com medidas efetivas de recuperação ambiental e restauração ecológicas, além do fortalecimento das políticas de transição energética para fontes limpas e renováveis.

A sociedade também deve ser envolvida na proteção da bacia hidrográfica, uma vez que a conservação dos recursos hídricos é um desafio coletivo. A educação ambiental e a mobilização social podem estimular a adoção de práticas sustentáveis e ampliar a pressão por políticas públicas efetivas. Programas de incentivo à recuperação de áreas degradadas, o engajamento de comunidades locais e a participação ativa nos processos de gestão e governança da água são estratégias fundamentais para garantir a efetividade das ações de mitigação.

Nesse contexto, a Agenda 2030 da ONU que estabelece metas globais para a sustentabilidade por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), orienta políticas e ações para minimizar os impactos ambientais e promover a resiliência dos ecossistemas ao integrar tais diretrizes aos instrumentos de planejamento e gestão ambiental. As ações realizadas neste estudo, portanto, contribuem para o atingimento dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS/ONU) nos seguintes itens: 6 Água potável e saneamento e 11 Cidades e comunidades sustentáveis (ONU Brasil, 2024).

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESC pelo suporte financeiro e institucional, viabilizado por meio da Chamada Pública 15/2021, bem como pela parceria estabelecida com as ações do Projeto Profor Águas Unesc, Chamada Pública 32/2022 – FAPESC, em colaboração com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Economia Verde (SEMAE). Esse apoio foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo, possibilitando a

realização das pesquisas e a ampliação do conhecimento sobre a temática abordada.

Referências

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Qualidade da Água no Brasil**. 2021. Disponível em: https://qualidadedaagua.ana.gov.br/index.html. Acesso em:12 fev. 2025.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação das águas superficiais do território nacional, as condições e padrões de qualidade e outros instrumentos da política nacional de recursos hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-59. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

CASTILHOS, Z. C.; FERNANDES, F. R. C. A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade. In: **Recursos minerais & sustentabilidade territorial: grandes minas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. v. 1, p. 361-386. ISBN 978-85-61121-83-9. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1174. Acesso em: 12 fev. 2025.

KERSTING, C. B.; GRIBOGGI, A. M.; SILVA, C. L. da. **Desafios da participação social na gestão dos recursos hídricos através dos comitês de bacias hidrográficas.** In: ENANPUR – Encontro Nacional de Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2023, Belém: ANPUR, 2023. Disponívelem:https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st02-26.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 13 fev. 2025.

MARTINELLI, L. A.; FERRARI, S. A.; FERRARI, R. A. **Monitoramento e diagnóstico de qualidade de água superficial. Apostila de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/126567/Monitoramento%20e%20Diagn%C3%B3stico%20de%20Qualidade%20de%20%C3%81gua%20Superficial%20%28web%29. pdf?sequence=1. Acesso em: 13 fev. 2025.

MENEZES, C. T. B.; CENI, G.; MARTINS, M. C.; VIRTUOSO, J. C. **Percepção de impactos socioambientais e a gestão costeira:** estudo de caso em uma comunidade de pescadores no litoral Sul de Santa Catarina, Brasil. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. v.8, p.457-481, 2019.

MENEZES, C. T. B.; CAROLA; OSORIO, P. S.; SANTOS, R.. **Impactos do carvão mineral nas pessoas e na natureza**, ed.1ª. Criciúma: EdiUNESC – Editora Unesc, 2024, v.01., p.131.

ONU BRASIL. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil. 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 20 fev. 2024.

RAVAZZOLI, C. A. Problemática ambiental do carvão em Santa Catarina: sua evolução até os termos de ajustamento de conduta vigente entre os anos de 2005 e 2010. **Geografia em Questão**, [S. l.], v. 6, n. 1, 2013. DOI: 10.48075/geoq.

v6i1.6516. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/6516. Acesso em: 13 fev. 2025.

SANTA CATARINA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, 2017. Disponível em: https://www.sds.sc.gov.br/index.php/recursos-hidricos/plano-estadual-de-recursos-hidricos. Acesso em: 15 fev. 2025.

SANTA CATARINA – **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Urussanga. Comitê da BaciadoRioUrussanga**,2019.Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=1904&Itemid=248&jsmallfib=1&dir=JSROOT/DHRI/Planos+de+Bacias/Plano+da+Bacia+Hidrogra fica+do+Rio+Urussanga. Acesso: 13 fev. 2025.

SCHNACK, C. E.; MENEZES, C. T. B.; CENI, G.; MUNARI, A. B. Qualidade da água no estuário do Rio Urussanga (SC, Brasil): um ambiente afetado pela drenagem ácida de mina. **Revista Brasileira de Biociências.** v.16, p.98 – 106, 2018.

VOLPATO, S. B.; MENEZES, C. T. B. & SILVA, J. V. F. 2017. Environmental recovery of aquatic ecosystems in estuarine regions: studies applied for the treatment of contaminated sediments by acid mine drainage in Urussanga River Basin, in Santa Catarina, Brazil. **Engenharia sanitária e ambiental**, 22 (2): 313-316.

Condições e consequências do manejo de agrotóxicos na cultura do caqui (*Diospyros kaki*) em propriedades rurais do município de Caxias do Sul/RS

Rosane Deinani[1], Nilva Lúcia Rech Stedile[2], Vania Elisabete Schneider[3]
[1]*Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGCAM-UCS) (deinani1@ucs.br)*
[2]*Professora aposentada Universidade de Caxias do Sul /Secretária de Planejamento da Prefeitura de São Marcos (nlrstedi@ucs.br)*
[3]*Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC) e Recursos Hídricos (PRORH), Universidade Federal de Sergipe (UFS) (veschnei@ucs.br)*

Resumo: No Brasil, o caqui (*Diospyros kaki*) vem ganhando destaque devido a extensão de área plantada e o aumento da produção. O caquizeiro é uma cultura perene que não demanda cuidados extremos em relação à incidência de doenças. Contudo, a busca pelo aumento da produtividade e a exigência do mercado consumidor, fez crescer também o uso de agrotóxicos. Seu uso de forma inadequada resulta em efeitos prejudiciais sobre a saúde ocupacional e ao meio ambiente. Na cultura do caqui, uma das maiores problemáticas em relação ao uso de agrotóxicos é a falta de produtos registrados para a cultura, levando os produtores rurais a utilizarem produtos recomendados para outras cultivares. Neste contexto, este trabalho objetivou analisar as condições de manejo de agrotóxicos entre os produtores de caqui, envolvendo as etapas de armazenamento, preparo da calda, aplicação, lavagem e descarte das embalagens, bem como as tipologias de agrotóxicos e as doses utilizadas por produtores no município de Caxias do Sul – RS e sua relação com a saúde do trabalhador rural e com o meio ambiente. Esta pesquisa é de natureza quantitativa descritiva e de campo, por meio da utilização de roteiro de entrevistas estruturado. Os resultados mostraram que a maioria dos entrevistados não segue corretamente o exposto em normas e legislações em relação ao manejo de agrotóxicos, especialmente quanto aos produtos e doses utilizadas. Desta forma, o agricultor, trabalhadores que manipulam, seus familiares, pessoas que residem no entorno do local de cultivo, a população consumidora da fruta, assim como o meio ambiente, está suscetível às consequências trazidas pelo mau uso de agrotóxicos.

Palavras-chave: Persimon; Fuyu; Kioto; Saúde ocupacional; Impacto ambiental; Saúde ambiental.

Conditions and consequences of the management of pesticides in the kaki (Diospyros kaki) *culture in rural properties in the municipality of Caxias do Sul/RS*

Abstract: In Brazil, the persimmon (*Diospyros kaki*) has been gaining prominence due to the extension of the planted area and the increase in production. The persimmon tree is a perennial crop that does not demand extreme care in relation to the incidence of diseases. However, the pursuit of increased productivity and consumer market demands has also led to an increase in the use of pesticides,. Their improper use results in harmful effects on occupational health and the environment. In persimmon cultivation, one of the major problems related to pesticide use is the lack of registered products for the crop, leading farmers to use products recommended for other cultivars. In this context, this study aimed to analyze the pesticide management conditions among persimmon producers, involving the stages of storage, preparation of the mixture, application, washing, and disposal of packaging, as well as the types of pesticides and doses used by producers in the municipality of Caxias do Sul – RS and their relationship with the health of rural workers and the environment. This research is quantitative, descriptive, and field-based, using a structured interview script. The results showed that most interviewees do not correctly follow the norms and regulations regarding pesticide management, especially concerning the products and doses used. Thus, farmers, workers who handle them, their families, people living around the cultivation area, fruit consumers, as well as the environment, are susceptible to the consequences brought about by the misuse of pesticides.

Keywords: Persimmon; Fuyu; Kioto; Occupational health; Environmental impact; Environmental health.

Introdução

O caqui (*Diospyros kaki*) é uma planta de origem asiática, principalmente cultivado na China e Japão (Sato & Assumpção, 2002; Campos et al, 2015). No Brasil, a produção de caqui é liderada por São Paulo (47,1%), Rio Grande do Sul (26,5%) e Minas Gerais (11,4%), com 85,1% das colheitas nacionais (AGROLINK, 2024). A principal região produtora no RS é a Serra Gaúcha (Campos, 2014) sendo a maior área plantada no município de Caxias do Sul, segundo maior produtor no Brasil (IBGE, 2018). Os cultivares predominantes no Brasil são Fuyu, Giombo e Rama-forte (Pereira e Kavati, 2011) e em Caxias do Sul, o Kioto e o Fuyu (Prefeitura de Caxias do Sul, 2019).

O caquizeiro é uma planta perene, tipo arbóreo, que atinge até 12 metros de altura com frutificação de fevereiro a abril e desenvolvimento satisfatório em diferentes tipos de solos e climas, sendo a fruta consumida principalmente *in natura* (Sato e Assumpção, 2002). No Brasil,

segundo Higashibara *et al.* (2012), com o aumento do cultivo, houve também uma maior incidência de pragas e doenças levando à necessidade de aumento da aplicação de agrotóxicos como forma de prevenção e controle.

Peres e Moreira (2003) salientam que o uso de agrotóxicos de forma inadequada resulta em efeitos prejudiciais sobre a saúde humana e o meio ambiente, devido às propriedades de bioacumulação e biomagnificação (Rosa, 2017; Rigotto etal. (2014)).

Após a aplicação de um agrotóxico, vários processos (físico-químicos e biológicos) determinam seu comportamento, definido, no ambiente, por processos de retenção (sorção, absorção), transformação (degradação química e biológica) e transporte (deriva, volatilização, lixiviação e carreamento superficial), bem como por interações destes (Spadotto *et al.*, 2004). No entanto, independente do seu caminho no ambiente, o ser humano é um dos principais receptores (Ministério do Meio Ambiente, 2012). Seus efeitos sobre a saúde humana podem ser agudos, (exposição a concentrações de um ou mais agentes tóxicos capazes de causarem danos durante ou pós o contato, e cujos sintomas aparecem até 24 horas após); ou crônicos (resultantes da exposição continuada de um ou mais produtos, cujos efeitos podem aparecer após dias, meses depois ou mesmo gerações) (Peres e Moreira, 2003).

Segundo Rigotto etal. (2014), o uso de agrotóxicos no Brasil na última década, aumentou em 190% e a média de uso por hectare foi de 8,33Kg, segundo Bombardi (2017), de 2012 a 2014.

As classes mais utilizadas no mundo e no Brasil são os inseticidas, herbicidas e fungicidas, representando de forma conjunta bilhões de quilogramas. Segundo Bressan (2015), muitas das irregularidades constatadas no uso de agrotóxicos estão relacionadas a utilização de produtos não registrados para determinada cultura. Com o caqui não é diferente, visto que na falta de produtos registrados, os agricultores utilizam substâncias não recomendadas para a cultura (Bassotto, 2011). Souza e Folgado (2016) salientam que o Estado tem incentivado a aquisição e o uso de agrotóxicos, sem o correspondente monitoramento e controle de danos à saúde e ao ambiente.

O manejo dos agrotóxicos inclui a compra, o transporte até a propriedade, o armazenamento, o preparo da calda e sua aplicação e a colheita, além do uso de EPIs, o manejo e o destino final das em-

balagens. Neste estudo, a ênfase está na identificação e na dosagem dos agrotóxicos usados, aspectos relacionados ao manejo, e na análise de possíveis consequências para os agricultores e para o ambiente. Trata-se de um recorte de pesquisa desenvolvida, tendo como objetivo identificar e caracterizar os agrotóxicos usados no cultivo do caqui e derivar acerca das potenciais consequências sobre a saúde do agricultor e sobre o ambiente.

Metodologia

O trabalho fundamentou-se em uma pesquisa de campo que, segundo Polit e Hungler (1995) busca a observação, a descrição e a exploração de fenômenos em cenários naturais. O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e aprovado sob número 4154511.

Definiu-se como unidade territorial a Bacia Hidrográfica do Rio Piaí no Município de Caxias do Sul/RS justificada por ser esta a unidade natural de planejamento e gestão territorial, e por ser o corpo hídrico mais diretamente afetado pelo uso dos agrotóxicos utilizados na cultura do caqui. Uma vez identificada a unidade territorial, os agricultores foram contatados nos locais de cultivo e convidados a participar do estudo, ocasião em que receberam esclarecimentos sobre o objetivo do estudo e os benefícios e riscos relacionados à participação. Após a concordância, os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido.

Foram entrevistados a totalidade dos agricultores que cultivam caqui na unidade territorial delimitada e que obedeciam aos critérios de inclusão, perfazendo o número de 50 participantes.

Os dados foram obtidos através de um roteiro de entrevista estruturado, com perguntas divididas em 04 módulos: Módulo I – informações que caracterizam a área estudada; Módulo II – dados sobre a cultura do caqui; Módulo III – manejo de agrotóxicos e uso de EPIs; Módulo IV – indicadores de saúde. A entrevista foi aplicada de forma individual, no local de trabalho de cada participante, e que se enquadrassem nos seguintes critérios: a) trabalhar no mínimo 15 horas semanais em atividades do ramo agrícola; b) possuir idade superior a 18 anos; c) residir na zona rural; d) estar atuando como agricultor em atividade regular há no mínimo seis meses; e) estar consciente e lúcido para responder as questões; f) aceitar participar do estudo e assinar o Termo

de Consentimento Livre e Esclarecido; g) possuir área com quantidade superior a 50 pés da fruta caqui. Nenhum produtor de caqui convidado foi excluído uma vez que todos atenderam a totalidade dos critérios. Os dados das entrevistas foram organizados em uma planilha do Microsoft Office Excel® 2016, tratados por estatística descritiva e analisados.

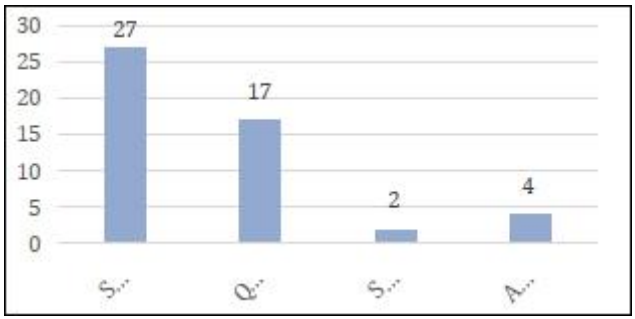
Resultados e Discussões

Os resultados evidenciaram que 42 das 50 propriedades visitadas, enquadram-se como Agricultura Familiar. O Rio Grande do Sul é o terceiro estado brasileiro com maior número de famílias enquadradas em agricultura familiar (Feix e Júnior, 2019). Os dados do último Censo Agropecuário (2017) apontam que dos 447 estabelecimentos agropecuários que cultivam a fruta caqui no município de Caxias do Sul, 80,5% são da agricultura familiar. O tamanho das propriedades é diversificado, variando de 3 até 730 hectares, sendo a média 35,5 hectares. Destas, 49 estão inscritas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), revelando que a maioria dos entrevistados atende a Lei N° 12.651/2012, (BRASIL, 2012).

Em relação ao cultivo do caqui, a área plantada, em média, é de 3,5 hectares e produção variando de 9.000 kg/ha a 40.000 kg/ha, com rendimento anual médio de 27.560 Kg/ha. As cultivares Fuyu e Kioto possuem área plantada de, em média, 2,5 hectares e 1,3 hectares, respectivamente, com sistema de cultivo convencional. Somente um dos entrevistados possui irrigação no cultivo, utilizando o método por gotejamento, com volume de irrigação estimada em 192.000 l/dia. De acordo com Lopes *et al* (2014), a irrigação proporciona melhores condições para o desenvolvimento da cultura, sendo o sistema de irrigação localizada, via gotejamento e microaspersão, as mais adequadas para o caquizeiro.

Em relação ao uso de agrotóxicos, 100% dos entrevistados afirmam realizar aplicação destes com frequência que varia de semanal, quinzenal e sazonal (Figura 1). Evidenciou-se que todos respeitam o período de carência, sendo que 78% dos entrevistados registram em caderno de campo. somente um dos 50 entrevistados afirma utilizar somente agrotóxicos registrados para a cultura do caqui.

Figura 1 – Frequência com que os agricultores aplicam agrotóxicos registrados na cultura do caqui



Fonte: os autores (2020).

Na Tabela 1, apresenta-se a percentagem, a classe e a classificação toxicológica e ambiental dos agrotóxicos que são utilizados pelos entrevistados. Dos agrotóxicos mais utilizados pelos entrevistados e que são recomendados para uso no caquizeiro, em relação a classificação ambiental determinada pela FISPQ, 9% dos agrotóxicos possuem classificação I (altamente perigosos para o meio ambiente), 55% II (muito perigosos), 27% III (perigosos) e 9% IV (pouco perigosos). Portanto, os agrotóxicos usados concentram-se prioritariamente na faixa dos muito perigosos ao Meio Ambiente. Na Tabela 2, são apresentadas as dosagens recomendadas, segundo respectivas FISPQs, referentes aos produtos registrados utilizados pelos entrevistados, bem como a dosagem média utilizada entre os produtores.

Tabela 1 – Marca comercial, Ingrediente ativo, Classe, Classificação e Persistência dos agrotóxicos registrados para o cultivo do caqui

% de uso	Marca comercial	Ingrediente Ativo	Classe	Classificação	
				Toxicológica	Ambiental
86%	Nativo	Trifloxistrobina Difenoconazol	Fungicida	Categoria 4	II
32%	Mythos	Pirimetanil	Fungicida	Não classificado	II
30%	Amistar Top	Azoxistrobina Difenoconazol	Fungicida	Categoria 5	II
24%	Eleitto	Acetamiprido Etofenproxi	Inseticida	Categoria 4	I
14%	Cobre Fersol	Oxicloreto de cobre	Fungicida	Categoria 5	III

14%	Sulfato de Cobre	Sulfato de Cobre	Fungicida	Não classificado	III
12%	Delegate	Espinetoram	Inseticida	Categoria 5	II
4%	Kumulus DF	Enxofre	Acaricida Fungicida	Categoria 5	III
4%	Oberon	Espiromesifeno	Acaricida Inseticida	Não classificado	I
2%	Smart Fresh	Metilciclopro-peno	Regulador de crescimento	Não classificado	IV
2%	Difcor	Difenoconazol	Fungicida	Categoria 3	II

Fonte: Os autores e Agrofit (2020).

Dentre os 50 entrevistados, 43 produtores mencionaram que utilizam o produto comercial Nativo, sendo que somente 24 pessoas citaram a dosagem do produto de acordo com o recomendado pela FISPQ. Dezesseis entrevistados citaram o produto Mythos, porém somente três fazem uso da dosagem recomendada, que é de 2 l/ha. Em relação ao Amistar Top, 15 entrevistados fazem uso, no entanto, a dosagem recomendada de 400 ml/ha foi mencionada somente por 3. O produto Eleitto, citado por 12 pessoas, cuja dosagem recomendada é de 400ml/ha a 500ml/ha, foi citada por somente 4 entrevistados. O mesmo repetiu-se para as substâncias menos citadas pelos agricultores. Portanto, mesmo quando são usados agrotóxicos registrados para o caqui, faz-se uso indevido, utilizando doses inadequadas. Entre os 11 produtos registrados citados pelos entrevistados, cinco são usados com dose maior que a recomendada, não respeitando a recomendação técnica. O uso de doses maiores que a recomendada representa maior risco de intoxicações, tanto para o agricultor quanto para o consumidor, além da contaminação ambiental.

A pesquisa revela também que 98% dos entrevistados realizam aplicação de agrotóxicos que não são registrados para a cultura do caqui (Tabela 3). Dentre os principais agrotóxicos utilizados foram citados: os fungicidas Antracol, Bravonil, Captan, Cercobin, Dithane e Score; os inseticidas Altacor e Decis e o herbicida Glifosato. Em relação a classificação ambiental (FISPQ), 11% dos agrotóxicos possuem classificação I; 33% II; 44% III, e 11% IV. Quanto aos requisitos de segurança apontados na NBR 9843-3 – EPIs, dos 50 entrevistados, há um atendimento parcial quanto ao uso, visto que somente 3 fazem uso

de vestimenta completa (ANDEF, 2002). Após a utilização do EPI, 88% dos entrevistados revelam que realizam a lavagem de forma individual e 12% não os lavam após o uso. Somente dois dos entrevistados não reutiliza nenhum EPI. Percebe-se que a maioria atende a orientação da Associação Nacional de Defesa Vegetal (2002). O uso de EPIs é considerado um elemento protetor à saúde, com redução do risco de intoxicações agudas e crônicas.

Tabela 2 – Dosagens dos agrotóxicos utilizados pelos entrevistados na cultura do caqui

Marca comercial	Dosagens (FISPQ)	Dosagem média citada	Menor dosagem citada	Maior dosagem citada
Nativo	500 a 600 ml/ha	729,09 ml/ha	200 ml/ha	2,0 l/ha
Mythos	2 l/ha	1,34 l/ha	450 ml/ha	2,5 l/ha
Amistar top	400 ml/ha	594,67 ml/ha	300 ml/ha	2,0 l/ha
Eleitto	400 a 500 ml/ha	520 ml/ha	200 ml/ha	1,0 l/ha
Cobre Fersol	2,2 kg/ha	1,36 Kg/ha	500g/ha	2,0 kg/ha
Sulfato de Cobre	4 a 5 kg/ha	2,75kg/ha	1,3 kg/ha	5,0 kg/ha
Delegate	120 g/ha	295g/ha	90 g/ha	1,0 kg/ha
Kumulus DF	2 a 4 kg/ha	3,1 kg/ha	3 kg/ha	3,2 kg/ha
Oberon	500 a 600 ml/ha	450 ml/ha	300 ml/ha	600 ml/ha
Smart Fresh	69 mg/m³	69 mg/m³	-	-
Difcor	200 ml/ha	330 ml/ha	-	-

Fonte: Os autores e AGROFIT (2020).

Tabela 3 – Marca comercial, Ingrediente ativo, Classe e Classificação dos agrotóxicos não registrados para o caqui e utilizados pelos agricultores

% de uso	Marca comercial	Ingrediente Ativo	Classe	Classificação	
				Toxicológica	Ambiental
68%	Cercobin	Tiofanato – metílico	Fungicida	Categoria 5	III
58%	Dithane	Mancozebe	Fungicida	Categoria 5	III
34%	Decis	Deltametrina	Inseticida	Categoria 4	I
30%	Score	Difenoconazol	Fungicida	Categoria 5	II
28%	Antracol	Propinebe	Fungicida	Categoria 5	IV

22%	Bravonil	Clorotalonil	Fungicida	Categoria 4	II
22%	Altacor	Clorantraniliprole	Inseticida	Não classificado	II
20%	Captan	Captana	Fungicida	Categoria 5	III
2%	Glifosato	Glifosato	Herbicida	Categoria 5	III

Fonte: AGROFIT (2020) e PPDB(2020), adaptado pela autora (2020).

A Tabela mostra que entre os agrotóxicos recomendados para esta cultura, os dois mais usados pelos entrevistados são de risco ambiental III (perigosos) e classificação toxicológica 5.

A forma de armazenamento dos agrotóxicos nas propriedades se faz principalmente em depósito específico (80%), galpão (12%), porão (6%) e outro local (2%). Em relação ao tipo de construção, 80% são de alvenaria, 18% de madeira e 2% outro material. O piso em 74% das propriedades é de concreto, 16% madeira, 8% solo exposto e 2% outros. Em relação ao local de armazenamento, 96% dos entrevistados revelam ambiente ventilado; 94% afirmam que o local é trancado; 10 % que o acesso é livre para crianças e 6% para animais. Dado preocupante é que 80% revelam que o local não possui desnível de contenção e 80% armazenam exclusivamente agrotóxicos neste ambiente. Sendo assim, pode-se perceber que a maioria dos entrevistados atende a legislação vigente, exceto em relação ao desnível de contenção. A Norma 9843-3 (ABNT, 2019) indica que a construção do local de armazenamento em alvenaria é o material mais adequado por reduzir risco de alastramento de incêndios, sendo que o piso também deve ser constituído por material impermeabilizante e possuir desnível. O local de armazenamento deve ser trancado e ventilado, podendo os produtos ser acondicionamento em estantes, prateleiras e armários. Ainda, 68% dos entrevistados disseram que não há qualquer indicação de alerta de risco como “CUIDADO VENENO”, estando a maioria em desconformidade com a NBR 9843-3 – parte 3.

Acerca da distância entre o local de armazenamento de agrotóxicos das residências na propriedade, 45 entrevistados disseram ser afastado, 94% que o local é afastado de rios, 96% que é distante de poços e 92% de açudes. A maioria dos entrevistados atende o disposto pela FEPAM (2017), que define que o valor mínimo de distanciamento é de 30 m de quaisquer tipos de construções e de 100 metros de qualquer curso d’água, nascente, banhado e áreas inundáveis. O conjunto de aspectos

observados no armazenamento de agrotóxicos protege o meio ambiente de contaminações.

Quanto as embalagens, 100% dos produtores realizam a lavagem antes do armazenamento, 92% realizam a tríplice lavagem e 54% perfuram o fundo conforme a NBR nº 13.968/1997. Também, 49 dos 50 produtores utiliza EPI para realizar a lavagem e 98% a utilizam na calda. A maioria promove a destinação conforme indicada na NBR nº 13.968/97. Todos os entrevistados realizam o armazenamento das embalagens limpas. No entanto, em relação a forma de acondicionamento, dos 50 entrevistados, 38% informaram que guardam diretamente em piso impermeabilizado, 16% em estantes, 4% diretamente no solo e 42% de outra maneira. O período do armazenamento das embalagens limpas varia de 6 meses a um ano, sendo que 100% dos entrevistados afirmaram que o local de devolução foi informado pelo comerciante e todos que o destino final é a devolução. Este cuidado no manejo está em acordo com a legislação vigente segundo a qual embalagens limpas e perfuradas podem ser armazenadas por período que não ultrapasse 12 meses e devem retornar, de acordo com a Lei Federal 12.305/2010, ao local onde foram adquiridas por logística reversa.

O preparo da calda é realizado em ambiente aberto e com solo exposto segundo 46% dos agricultores, 22% em local aberto e com piso, 20% no local de aplicação e 12% em local fechado e com piso. Percebe-se que a maioria atende o recomendado, conforme exposto pela Associação Nacional de Defesa Vegetal. Em relação à maneira do preparo da calda, 72% utilizam um balde, 2% um pote, um informou que possui uma caixa de diluição específica e os demais (22%) realizam a mistura diretamente no pulverizador (implemento agrícola), 90% utilizam para a mistura um utensílio de cabo longo. A maioria dos entrevistados está em desconformidade conforme o exposto pela Associação Nacional de Defesa Vegetal, que é a de usar somente o agitador do pulverizador para realizar a mistura da calda. Dos 50 entrevistados, 43 lavam o recipiente utilizado para preparar a calda, sendo que 78% utilizam a água da lavagem na calda, 8% descartam no solo e 14% mencionaram que não realizam lavagem.

Em relação aos indicadores de saúde, somente um dos entrevistados sofreu acidente de trabalho no último ano, por meio de uma queda. De acordo com Drebes *et al.* (2014), o trabalho voltado a agricultura é

considerado um dos mais vulneráveis à ocorrência de acidentes devido a quantidade e a diversidade de riscos ocupacionais a que estão expostos.

Diversos estudos mostram a possível relação entre a exposição aos agrotóxicos e os prejuízos à saúde humana (Boulanger M. *et al.*, 2020; Jacobsen-Pereira CH, 2020). Segundo o Instituto Nacional de Câncer (2019), os principais efeitos crônicos são: dificuldade para dormir; esquecimento; aborto; impotência; depressão; problemas respiratórios graves; alteração do funcionamento do fígado e rins; anormalidade da produção de hormônios da tireoide, dos ovários e da próstata; esterilidade; malformação e problemas no desenvolvimento intelectual e físico das crianças; bem como câncer. Dentre os sintomas/doenças caracterizados como danos agudos, os mais citados pelos entrevistados foram: dor de cabeça (30%), irritação nos olhos (16%), coceira (10%), alterações visuais (8%), vertigem/tontura (4%) e fraqueza/fadiga/cansaço (4%). E os crônicos: pressão alta (20%), depressão (8%), problemas no fígado (6%), convulsões (4%) e asma/bronquite/enfisema (4%). De acordo com Castro *et al.* (2011), os sinais e sintomas relatados pelos entrevistados em seu estudo foram vertigens/tonturas, mal-estar generalizado, alergia na pele/coceira, dores de cabeça, cãibras, fraqueza ou cansaço, falta de apetite. Bedor *et al.* (2004) ressalta que os principais sintomas de intoxicação são dor de cabeça, irritação na pele e tontura. Estes resultados possuem similaridade com os sinais e sintomas relatados no presente estudo.

Conclusões

O uso de agrotóxicos entre produtores rurais é uma realidade, sendo imprescindível, no entanto, seguir criteriosamente as recomendações técnicas para segurança de todas as pessoas envolvidas no processo, assim como para preservação do meio ambiente. No entanto, a pesquisa mostrou que a maioria dos produtores de caqui entrevistados não cumprem a totalidade das recomendações estipuladas pela legislação e/ou normativa vigente, destacando-se o uso de dose maior que a recomendada e de substâncias não recomendadas especificamente para tal cultura. Tais ações podem estar diretamente associadas aos sinais e sintomas mencionados pelos entrevistados, tendo em vista a possibilidade iminente de contaminação decorrentes do uso incorreto de agrotóxicos, associado a inadequações, também identificadas, com o uso de EPIs. Podem ainda oferecer riscos à saúde dos consumidores

(especialmente pelas doses usadas além do recomendado pelos fabricantes) e a contaminação ambiental. Sabendo-se que o município de Caxias do Sul é referência no setor primário, verifica-se a necessidade de ações que objetivem a mitigação dos impactos decorrentes do uso de agrotóxicos, como o incentivo à pesquisa acerca do uso destes produtos e suas implicações, incentivo ao desenvolvimento de práticas corretas no manejo de agrotóxicos, capacitação dos responsáveis pelo manejo dos produtos, acompanhamento técnico qualificado, desenvolvimento de programas de educação ambiental, bem como fiscalização rígida por parte dos órgãos competentes, evitando-se, assim, o agravo à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente.

Referências

AGROFIT (Base de dados de produtos agrotóxicos e fitossanitários). ConsultadeProdutos Formulados.Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária/ Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2020. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 08 jun. 2020.

Associação nacional de defesa vegetal – ANDEF. Manualdeusocorretoesegurodeprodutos fitossanitários/agrotóxicos.São Paulo, 2002, 28p.

Bassotto, V. Relatóriodeestágiocurricularobrigatóriosupervisionado.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, 2011. Disponível em: https://docplayer.com.br/21718896-Valdenir-bassotto-150916.html. Acesso em: 08 jun. 2020.

Bedor, C. N. G; Ramos, L. O.; Pereira, P. J.; Rêgo, M. A. V.; Pavão, A. C.; Augusto, L. G. S. Vulnerabilidades e situações de riscos relacionados ao uso de agrotóxicos na fruticultura irrigada. São Paulo: Rev.bras.Epidemiol. vol. 12, n. 1, p. 39-49, 2009

Bombardi, L. M. Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia. São Paulo: FFLCH – USP, 2017.

Bressan, M. Agrotóxicos (Legislação federal). 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/Agrot%C3%B3xicos+-+Legisla%C3%A7%C3%A3o+Federal+- +Marcelo+Bressan.pdf/7fa2f519-2945-a6a6-dbe5-c141c487693c. Acesso em: 28 maio 2020.

Boulanger M. *et al.* Lung cancer risk and occupational exposures in crop farming: results from the AGRIculture and CANcer (AGRICAN) cohort. Occup Environ Med. 2018;75(11):776-785. DOI: https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104976

Campos, S. S. Fenologia, Estudo da biologia floral, fertilidade do polen e produção em cultivares de caquizeiro (Diospyrus kaki, L. e Diospyrus virginiana, L.). Programa de pós graduação em Fitotecnia.Universidade Federal do Rio Grande do Sul,Porto Alegre, 2014.

Castro, M. G. G. M. de; Ferreira, A. P.; Mattos, I. E. Uso de agrotóxicos em assentamentos de reforma agrária no Município de Russas (Ceará, Brasil): um estudo de caso. Epidemiologiae ServiçosdeSaúde, v.20, n.2 Brasília, 2011.

Drebes, L. M.; Scherer, C. B.; Gonçalves, J. R.; Dorr, A. C. Acidentes típicos do trabalho rural: um estudo a partir dos registros do hospital universitário de Santa Maria, Rs, Brasil. Revista MonografiasAmbientais – REMOA v.13, n.4, set-dez. 2014, p.3467-3476.

Higashibara, L. R etal.Turboatomizador e repasse com pistola manual na cobertura de pulverização de agrotóxicos em caquizeiro (Diospyros kaki L.f.). CiênciaRural, Santa Maria, v. 43, n.5, p. 845-849, 2013.

Instituto Nacional de Câncer – INCA. Agrotóxico. 2019. Disponível em: https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos . Acesso em: 30 maio 2020.

Jardim, I. C. S. F.; Andrade, J. A.; Queiroz, S. C. N. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global – Um enfoque às maçãs. QuímicaNova, vol. 32, n. 4, São Paulo, 2009

Jacobsen-Pereira C.H. *et al.* Immune response of Brazilian farmers exposed to multiple pesticides. Ecotoxicol Environ Saf. 2020;202:110912. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110912

Lopes, P. R. C.; Oliveira, I. V. de M.; Oliveira, J. E. de M.; Assis, J. S. CultivodoCaquizeirono ValedoSãoFrancisco.Circular técnica, Petrolina, 2014.

Ministério do Meio Ambiente. Agrotóxicos.Brasília: [s.n.], 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/gestao-das-substancias-quimicas/produtos- agrot%C3%B3xicos.html. Acesso em: 30 maio 2020.

Pereira, F. M.; Kavati, R. Contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. RevistaBrasileiraFruticultura, Jaboticabal – SP, Volume Especial, p. 92-108, 2011.

Polit, D.F; Hungler, B.P. FundamentosdePesquisaemEnfermagem.3ª edição. Trad. Regina Machado Garcez. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

Prefeitura de Caxias do Sul. Caxias do Sul é o maior produtor de caqui do Estado. 2019. Disponível em: https://caxias.rs.gov.br/noticias/2019/04/caxias-do-sul-e-o-maior-produtor-de- caqui-do-estado . Acesso em: 15 abr. 2020.

Rigotto, R. M. Vasconcelos, D. P.; Rocha, M. M. UsodeagrotóxicosnoBrasileproblemasparaa saúdepública.Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2014.

Rosa, A. R. Manejo e descarte de resíduos de embalagens de agrotóxicos em um município da Serra Gaúcha. 2017, 102 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais) Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

Sato, G. S.; Assumpção, R. Mapeamento e análise da produção do caqui no Estado de São Paulo. InformaçõesEconômicas, v. 32, n.6, São Paulo, 2002. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=54

Souza, M. M. O. Folgado, C. A. R.
AgrotóxicosViolaçõesSocioambientaiseDireitoshumanosno Brasil.Anápolis – Goiás: Editora Universidade Estadual de Goiás, 2016. 296 p

Spadotto, C. A. Gomes, M. A. F.; Luchini, L. C.; Andréa, M. M. de.
MonitoramentodoRisco AmbientaldeAgrotóxicos:princípioserecomendações. Embrapa, São Paulo, 2004. 29 p.

Tradeoffs entre economia e meio ambiente – evidências de opinião pública no Brasil

Ednaldo Ribeiro[1], Gustavo César de Macêdo Ribeiro[2], Lucas Toshiaki Archangelo Okado[3], Camila Brancalhão.
[1]Universidade Estadual de Maringá – UEM – (ednaldorip@gmail.com)
[2]Universidade Federal do Pará – UFPA – (gcmribeiro@ufpa.br)
[3]Universidade Federal do Pará – UFPA – (lucas.okado@gmail.com)

Resumo: Em trade-offs entre meio ambiente e economia, o que explica a escolha pela segunda? O presente artigo busca oferecer respostas a essa questão utilizando dados de opinião pública de amostras representativas da população brasileira coletados pelo World Values Survey e pela Pesquisa dos Valores Ambientais e Atitudes sobre a Amazônia. Avaliamos a evolução dessas opções preservacionista e desenvolvimentista em nosso contexto e identificamos seu principais correlatos demográficos e atitudinais. São empregadas técnicas de estatística descritiva e modelos multivariados de regressão logística. Os resultados apontam para o crescimento da opção ambientalista ao longo do tempo e confirmam as relações entre ideologia e idade, mas não corroboram hipóteses relacionadas aos valores pós-materialistas e à região de moradia.

Palavras-chave: Trade-Off; Economia; Meio Ambiente; Valores Ambientais; Atitudes Políticas.

Economy-Environment tradeoffs – public opinion evidence from Brazil

Abstract: This article seeks to answer this question using public opinion data from representative samples of the Brazilian population collected by the World Values Survey and the Survey on Environmental Values and Attitudes toward the Amazon.We assess the evolution of these preservationist and developmentalist choices in our context and identify their main demographic and attitudinal correlates. Descriptive statistical techniques and multivariate logistic regression models are employed.The results indicate the growth of the environmentalist option over time and confirm the relationships between ideology and age, but do not support hypotheses related to post-materialist values and region of residence.

Keywords: Trade-Off; Economy; Environment; Environmental Values; Political Attitudes.

Introdução

Vários são os dados comparativos que localizam o público brasileiro entre os mais preocupados com as questões ambientais, no mundo.

Crespo (1993), em estudo seminal, ressaltava ser o Brasil um dos países com mais altos percentuais de preocupação com a preservação ambiental, já na década de 1990. Em publicações mais contemporâneas, tal tendência também é evidenciada. Dessa forma, mesmo problemas como o negacionismo climático parecem grassar com menor força entre os(as) brasileiros(as), em comparação a outras realidades, como a estadunidense (Campbell e Kay 2014). Ademais, no Brasil, a conservação ambiental é compreendida como primordial mesmo quando contrastada com a economia. Evidências nesse sentido advêm tanto de estudos comparativos internacionais com recortes mais amplos (Inglehart, 2001), quanto mais restritos (Loubser 2018). Mesmo em contextos de recessão, nos quais seria de se esperar uma guinda à economia, a preferência brasileira pelo meio ambiente se mantém, como demonstrado por (Bakaki e Bernauer 2018).

Não obstante, desde a emergência da extrema direita como força estruturante da disputa política brasileira, o aparente consenso acerca da preservação ambiental, no âmbito da opinião pública, parece ter sido posto em questão. O incentivo a práticas econômicas danosas ao meio ambiente, patente em discursos de lideranças daquele campo político, ou mesmo a desregulamentação de políticas ambientais, exemplificada por políticas da administração federal liderada por Jair Bolsonaro, podem ter incentivado o público brasileiro a maiores níveis de escolha pelo desenvolvimento econômico, mesmo com consequências ambientais danosas (Veiga, Ribeiro e Piaia, 2023). Caso não tenham tornado a escolha pela economia majoritária em tradeoffs com o meio ambiente, há de se esperar que, no contexto pós-Bolsonaro, as atitudes anti-ambientais tenham se tornado mais heterogêneas ideologicamente, pelo menos.

Tendo em vista esse contexto, o presente trabalho baseia-se em evidências de opinião pública sobre o Brasil para abordar algumas questões ainda não analisadas de forma mais acabada pela literatura sobre o país. A saber – (1) há mudanças substanciais nas preferências dos(das) brasileiros(as) acerca dos trade-offs entre meio ambiente e economia, ao longo do tempo? (2) Os valores pós-materiais podem ser elencados como condicionantes de tais escolhas, no Brasil? (3) Fatores como ideologia e geração têm poder explicativo acerca dos posicionamentos individuais nos tradeoffs? (4) A referência a recortes ecológicos mais

específicos, como o caso da região Amazônica, altera substancialmente os padrões de escolha em tradeoffs para opções mais pró-ambientais?

Com base nas ondas disponíveis para o Brasil do World Values Survey (WVS) e nos dados da Pesquisa de Valores Ambientais e Atitudes sobre a Amazônia (PVAAA), demonstra-se que (1) embora sempre prevalentes, as escolhas pelo meio ambiente frente ao desenvolvimento econômico tornaram-se amplamente majoritárias no âmbito do público brasileiro nas décadas de 2000 e 2010; (2) valores pós-matrialistas não estão associados a opção preservacionista; (3)orientações ideológicas à direita estão associadas a opção pelo desenvolvimento econômico e grupos etários mais velhos tem menor probabilidade de selecionar essa alternativa; (4) a região de moradia não está associada ao padrão de escolha no *tradeoff*.

Aspectos Teóricos

A literatura sobre as relações entre economia e meio ambiente com base em evidências de opinião pública aborda desde a "vontade de pagar" por um meio ambiente saudável (via impostos ou políticas de compensação, por exemplo Fairbrother, 2022) à opção por um dos lados no trade-off entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental (Daniels *et al.*, 2013).

Os estudos que buscam entender os condicionantes pelo opção preservacionista têm identificados três ordens de fatores que podem influenciar a autopercepção dos indivíduos na sociedade: (1) atributos sociodemográficos, como gênero, idade, grupo étnico e renda; (2); crenças ou visões de mundo fundamentais, isto é, o conceito mais amplo de preocupação ambiental, que busca compreender a percepção dos indivíduos sobre a gravidade dos problemas enfrentados por eles nesse sentido e (3) orientações políticas, ou seja, as crenças e valores fundamentais do indivíduo no que se refere à relação entre humanos e o meio ambiente (Liu, Vedlitz e Shi 2014).

No primeiro grupo de condicionantes destacamos a questão geracional, uma vez que estudos realizados entre as décadas de 1980 e 1990 mostraram consistentemente uma maior preocupação com questões ambientais por parte dos mais jovens em comparação aos adultos mais velhos. Essa tendência pode ser atribuída ao fato de que os jovens são menos integrados ao sistema econômico e social dominante, tornando-os mais receptivos a reformas ambientais e posicionamentos

preservacionistas diantes de *tradeoffs* (Liu, Vedlitz e Shi 2014). Grupos etários mais jovens tenderiam a perceber o meio ambiente como um espaço compartilhado, além de compreenderem a relação entre humanos e natureza de forma interdependente, adotando, assim, um paradigma ambiental mais progressista. Os adultos também valorizam a preservação, no entanto, adotam uma abordagem moderada, conciliando visões tradicionais de desenvolvimento com a proteção ambiental. Os grupos etários mais velhos, embora conscientes das questões ambientais práticas, mostram-se mais céticos em relação a mudanças radicais e tendem a manter traços do paradigma tradicional, que prioriza a utilização de recursos naturais para benefício humano.

Entre os fatores relacionados às crenças, o mais recorrente na literatura segue o caminho proposto por Ronald Inglehart e seus vários colaboradores no que ficou conhecida como Teoria do Desenvolvimento Humano (Inglehart 1995). Na conhecida interpretação de Inglehart, em sociedades industriais ocidentais, as melhorias nas condições de vida e nos níveis educacionais concorreram para uma maior garantia de condições materiais de existência e, consequentemente, para a ampla expressão de valores pós-materiais. Em relação às questões ambientais, países com públicos mais inclinados a tais valores teriam mais propensão a "fazer sacrifícios materiais em benefício da proteção ambiental" (Inglehart, 1995, p. 57) – o que também tem sentido para os indivíduos pós-materialistas, no interior desses países. Consequentemente, no outro lado dessa abordagem está a compreensão de que, em países das periferias do capitalismo global, a opção pelo desenvolvimento econômico seria preponderante, mesmo que em desfavor do meio ambiente (STEG; DE GROOT, 2012).

Apesar de confirmações empíricas relevantes ao longo do tempo (Inglehart e Abramson, 1999; Gelissenn 2007), tais premissas foram amplamente desafiadas. É celebre, nesse sentido, o debate empreendido por Dunlap e Mertig (1995) com as teses de Inglehart para demonstrar, já na década de 1990, a disseminada aceitação global da proteção ambiental em trade-offs com a economia, mesmo em países em desenvolvimento. No mesmo tom, estudos comparativos internacionais mais recentes referendaram tais achados e mesmo demonstraram a ampliação do apoio às alternativas ambientais (Drews, Antal e van den Bergh 2018; Gugushvili 2021).

Diversas pesquisas apontaram para supostas anomalias de países com modestas proporções de pós-materialistas com níveis elevados de atitudes ambientalistas. (Dunlap e Mertig, 1997; Fairbrother, 2013). Algumas tentativas de conciliação foram propostas para explicar tais discrepâncias, algumas delas apontando uma diferença de níveis de análise como causa. Pesquisadores propuseram que a conexão pós-materialismo/ambientalismo ocorre no nível individual e não nacional (Kidd e Lee, 1997; Gelissen 2007) e que inicialmente a presença de preocupação com temas ambientais ocorre entre as camadas mais ricas da população, mas com o passar do tempo essas atitudes se difundem entre as camadas menos abastadas (e menos pós-materialistas) (Nawrotzki e Pampel, 2013). Ocorria, portanto, a generalização da sensibilidade ao tema ambiental, configurando uma Teoria do Ambientalismo Global. Em síntese, evidências continuam afirmando a relevância dos valores pós-materialistas, mas apontam também para a paulatina disseminação de atitudes ambientais, reduzindo assim o efeito desses valores.

A última ordem de fatores apontados pela literatura reúne orientações e atitudes políticas, argumentando que, embora muitas pessoas reconheçam a gravidade das mudanças climáticas e expressem preocupação com seus impactos, isso nem sempre se traduz em apoio a políticas destinadas a mitigar o problema (Fairbrother 2022). Essa lacuna revela que a literatura frequentemente não distingue adequadamente entre valores ambientais, crenças e preferências por políticas específicas, tratando esses conceitos como equivalentes. Todavia, acreditar na existência de problemas ambientais e apoiar soluções políticas concretas são processos distintos. Preocupação ambiental não é necessariamente acompanhada de apoio a iniciativas de mitigação e disposição pessoal para contribuir com essas medidas.

Para entender esse *gap* Campbell e Kay (2014) propõem o modelo de "aversão à solução". Esse modelo sugere que a rejeição às evidências científicas por parte dos indivíduos não ocorre de uniformemente, variando de acordo com as orientações ideológicas. Tal variação se manifesta quando as propostas de enfrentamento de determinados problemas científicos entram em conflito com valores ou convicções ideológicas pré-existentes. Assim, a negação dos problemas ambientais não estaria necessariamente fundamentada na minimização da sua gravidade, mas na percepção de que as soluções políticas associadas representam ameaças, sejam ideológicas ou materiais, às crenças dos

indivíduos. A ideologia, entendida como conjunto inter-relacionado de atitudes morais e políticas, com componentes cognitivos, afetivos e motivacionais, pode não apenas guiar, direcionar e limitar o processamento de informações, mas também influenciar os comportamentos. Esses vieses motivados na cognição e no comportamento podem ocorrer em qualquer posicionamento ideológico com o qual o individuo se identifique, dependendo de como as circunstâncias ameaçam ou reforçam suas respectivas ideologias e intuições.

No âmbito específico das mudanças climáticas, a negação das evidências apresentadas não se deve, necessariamente, ao fato de os indivíduos duvidarem da gravidade do problema, mas sim porque as soluções propostas entram em conflito com suas crenças ideológicas, especialmente aqueles que valorizam o livre mercado e a mínima intervenção governamental. Propostas como regulamentações estatais e impostos ambientais podem gerar aversão em determinados grupos ideológicos. Nesse contexto, o ceticismo climático é menos sobre a ciência e mais sobre as implicações políticas associadas a ela (Campbell e Kay 2014).

Além disso, a ideologia funciona como um filtro perceptivo, moldando a maneira como os indivíduos interpretam problemas e soluções. Grupos classificados como liberais tendem a aceitar o consenso científico sobre as mudanças climáticas, mas também pode demonstrar ceticismo em outros domínios quando as soluções propostas desafiam suas crenças, como no caso de políticas de segurança pública que restringem o uso de armas (Campbell e Kay 2014). Assim, a "aversão à solução" é um fenômeno que transcende espectros ideológicos, indicando que o raciocínio motivado não é exclusivo de um grupo político, mas reflete como as políticas associadas a certos problemas podem ameaçar identidades e valores profundamente enraizados.

Estratégias Metodológicas

Para responder as perguntas listadas na introdução utilizamos dois bancos de dados distintos, ambos com medidas sobre o *tradeoff* desenvolvimento econômico e proteção ambiental derivadas de pesquisas representativas da população nacional. Para avaliar a evolução ao longo do tempo dessas escolhas e o quanto elas se devem aos chamados valores pós-materialistas, selecionamos a série histórica de pesquisas do World Values Survey. Essa iniciativa internacional tem inserido o

Brasil nas suas sondagens desde o início da década de 1990 e nas suas quatro últimas ondas (1997, 2006, 2014 e 2018) inclui uma pergunta que apõe crescimento econômico à proteção ambiental. Inicialmente apresentamos uma representação gráfica dos percentuais de respostas para cada uma das alternativas de respostas entre 1997 e 2018, para identificarmos se a opção pela preservação ambiental ganhou ou não mais espaço entre os brasileiros. Na sequência apresentamos modelo de regressão logística binária tendo como medida dependente a opção desenvolvimentista e como preditor a medida de pós-materialismo e um controle educacional.

As demais perguntas são respondidas usando a Pesquisa de Valores Ambientais e Atitudes sobre a Amazônia (PVAAA), produzida pela Universidade Federal do Pará. Os dados foram coletados de dados realizada entre 02 de abril e 24 de maio de 2024 pela CP2 Consultoria, Pesquisa e Planejamento. Ela contou com um modo de aplicação misto, com entrevistas por telefone e presenciais. Tendo como universo a população brasileira acima de 16 anos, sua amostra conta com 1789 entrevistas, com 2 pp. de margem de erro, 95% de confiança. Nela há também uma sobreamostra da população da região Norte (n = 589), com 4 pp. de margem de erro.

Na PVAAA, a questão que aborda preferências da relação entre meio ambiente e economia é feita de forma mais específica e situa o *tradeoff* na região amazônica. Especificamente, a redação é a seguinte: "Geração de emprego e renda devem ser prioritários na Amazônia, mesmo que isso possa causar danos ambientais à região. Sobre essa frase, você diria que: 01. Concorda totalmente; 02. Concorda parcialmente; 03. Não concorda nem discorda; 04. Discorda parcialmente; 05. Discorda totalmente". Tendo em vista uma maior comparabilidade entre as duas pesquisas, utilizaremos uma versão binária dessa última variável, opondo os que concordam total ou parcialmente com assertiva aos demais respondentes.

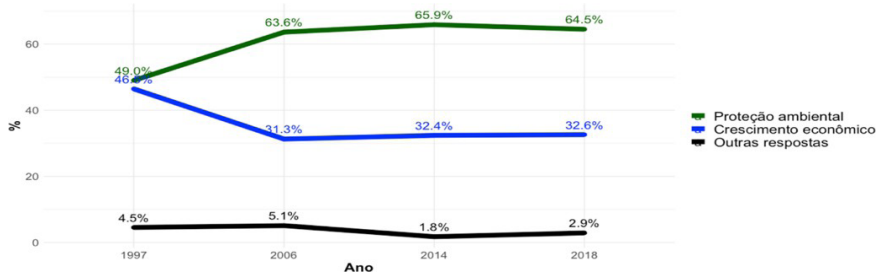
Resultados

Cabe inicialmente situar o Brasil no contexto internacional em termos do percentual da população que opta pela proteção ambiental nessa pergunta dualista. Como podemos perceber no Gráfico 1, em 2018 temos 64,5 pontos, o que nos coloca em posição superior à de vizinhos como Argentina (49%), mas também de vários países europeus, como

França (51%), Alemanha (48%), Itália (58), Espanha (50%) e Reino Unido (61%).

A série histórica disponível indica um momento de crescimento acentuado nesse contingente de preocupados entre 1997 e 2006, quando ganhamos quase 15 pontos percentuais. É importante notar a queda também no percentual de pessoas que, espontaneamente, indicam posição diferente das duas oferecidas pelo instrumento, indicando aumento na convicção.

Gráfico 1 – Economia Vs Meio Ambiente, Brasil 1997-2018



Dados: WVS 1997-2018

A Tabela 1 exibe os resultados de modelos de regressão logística para cada ano dessa série nos ajuda a entender a relação entre valores pós-materialistas e a opção desenvolvimentista. Observamos efeitos significativos apenas na sondagem de 2006, reduzindo em 47% a probabilidade dos entrevistados estarem entre os que privilegiam o desenvolvimento econômico e a geração de empregos. O mesmo ocorre com o controle educacional, que indica efeitos apenas em 1997 (para o grupo intermediário) e em 2014 (para a educação superior). Considerando o último ponto da nossa série histórica, os resultados parecem corroborar mais a hipótese do ambientalismo global (Brechin e Kempton, 1997; Dunlap e Merting, 1997; Fairbrother, 2013), do que a tese do pós-materialismo e dos efeitos das experiências geracionais.

Tabela 1 – Preditores da opção pelo desenvolvimento econômico, Brasil 1997-2018.

	1997		**2006**		**2014**		**2018**	
Preditores	*RC*	*p*	*RC*	*p*	*RC*	*p*	*RC*	*p*
(Intercept)	1,38 **	,004	,60***	,001	,65***	,001	,54***	,001
Pós-materialista	,87	,508	,53*	,011	,94	,814	,75	,196
Educação Média	,66**	,003	1,09	,463	,78	,055	,89	,389
Educação Superior	,75	,163	,74	,082	,46	,001	,84	,326
N	1087		1362		1232		1253	
R2 Tjur	,009		,009		,016		,003	

Fonte: WVS 1997-2018

A Tabela 2 exibe os resultados do modelo de regressão logística usando os dados da PVAAA e o primeiro achado digno de nota é o efeito negativo dos dois grupos etários mais velhos da amostra, na comparação com a categoria de referência dos menores de 25 anos. A maior diferença está entre essa referência e os com mais de 60 anos, já que os entrevistados desse último grupo têm sua probabilidade reduzida em 44%. Esses efeitos contrariam a relação entre juventude e ambientalismo presente na literatura (Liu, Vedlitz e Shi 2014) e sugere um cenário distinto em países em desenvolvimento como o nosso.

A segunda relação estatisticamente significativa é verificada na variável ideologia, dessa vez em concordância com a literatura, que identifica indivíduos mais ligados à direita como menos favoráveis a alternativa ambientalista no *tradeoff* (Campbell e Kay 2014). Em nosso modelo a categoria de referência é composta pelos identificados com a esquerda do espectro político e a razão de chance encontrada para a direita revela que esse grupo tem probabilidade 43% maior de fazer a opção pela geração de empregos.

Sobre nossa última pergunta, não foram encontradas relações significativas com a região de moradia dos entrevistados, indicando que esse atributo demográfico não está relacionado a opção pela geração de emprego ou preservação ambiental. Esse resultado chama a atenção principalmente pelo fato de nossa variável dependente se referir especificamente à escolha no contexto amazônico.

Entre os controles adicionais, vale mencionar o efeito positivo da média e baixa escolaridade, na comparação com a educação superior e as relações não significativas entre cor e renda.

Tabela 2 – Preditores da opção pelo desenvolvimento econômico, Brasil 2023.

Preditores	R, Chance	Erro P,
(Intercept)	0,27 ***	0,09
Idade [25 a 34]	0,79	0,16
Idade [35 a 44]	0,82	0,17
Idade [45 a 59]	0,52 ***	0,1
Idade [60+]	0,56 **	0,11
Escolaridade [Baixa]	1,60 *	0,34
Escolaridade [Média]	2,01 ***	0,28
Sexo [Masculino]	2,05 ***	0,24
Cor /Raça [Preta]	0,71	0,14
Cor /Raça [Amarela]	0,15 *	0,12
Cor /Raça [Parda]	1,01	0,13
Cor /Raça [Indígena]	2,18	1,12
Ideologia [Centro]	1,35	0,24
Ideologia [Direita]	1,43 *	0,25
Ideologia [NS/NR]	0,76	0,17
Região [Nordeste]	0,84	0,19
Região [Norte]	1,11	0,29
Região [Sudeste]	1,19	0,25
Região [Sul]	0,98	0,24
Renda [Intermediária II]	0,95	0,13
Renda [Intermediária I]	1,21	0,22
Renda [Alta]	1,3	0,28
N	1615	
R2 Tjur	0,074	

Fonte: WVS 1997-2018

Considerações Finais

Os resultados encontrados apontam para um crescimento da preocupação ambiental entre os brasileiros, medido pela opção pela preservação ambiental no *tradeoff* com o desenvolvimento econômico e a geração de empregos. Essa evolução nos coloca em posição favo-

rável na comparação com países em desenvolvimento, mas também desenvolvidos.

A análise dos condicionantes dessa posição ambientalista revelou diferenças importantes em nosso contexto, como a falta de efeito dos valores pós-materialistas, o que pode ser atribuído ao reduzido contingente de pessoas comprometidas com tais valores em um contexto ainda de grandes dificuldades materiais. A especificidade mais marcante, todavia, ocorre na variável sobre grupos etários, pois contrariando boa parte da literatura internacional, os grupos associados à opção ambientalista foram os dois mais velhos. Por outro lado, confirmando estudos conduzidos principalmente nos EUA, encontramos relação entre posicionamentos ideológicos de esquerda e a opção preservacionista. Por fim, não foram verificadas diferenças entre entrevistados das diferentes regiões nacionais.

Agradecimentos

Essa pesquisa foi conduzida com apoio do CNPq, por meio do INCT ReDem e do seu programa de bolsas de Produtividade em Pesquisa. Nossos agradecimentos.

Referências

BAKAKI, Z.; BERNAUER, T. Do economic conditions affect public support for environmental policy? Journal of Cleaner Production, 2018.

CAMPBELL, T.; KAY, A. Solution Aversion: On the Relation between Ideology and Motivated Disbelief. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 107, n. 5, p. 809–824, 2014. DOI: https://doi.org/10.1037/a0037963.

CRESPO, S. O Brasil na era verde: a consciência ecológica no país segundo pesquisas de opinião. **Opinião Pública**, v. I, n. 2, p. 120–148, 1993.

DANIELS, D. *et al.* Public Opinion on Environmental Policy in the United States. In: KRAFT, MICHAEL E.; KAMIENIECKI, SHELDON (Org.). **The Oxford Handbook of U.S. Environmental Policy.** Oxford: Oxford University Press, 2013. p. 461–486.

DREWS, S.; ANTAL, M.; Van Den BERGH, J. Challenges in Assessing Public Opinion on Economic Growth Versus Environment: Considering European and US Data. **Ecological Economics**, v. 146, p. 265–272, 2018.

DUNLAP, R. E.; MERTIG, A. G. Global concern for the environment: is affluence a prerequisite? **Journal of Social Issues**, v. 51, n. 4, p. 121–137, 1995.

FAIRBROTHER, M. Public opinion about climate policies: A review and call for more studies of what people want. **PLOS Clim,** 1(5), 2022.

GELISSEN, J. Explaining Popular Support for Environmental Protection: A Multilevel Analysis of 50 Nations. **Environment and Behavior**, 39(3), 392-415, 2007.

GUGUSHVILI, D. Public attitudes toward economic growth versus environmental sustainability dilemma: Evidence from Europe. **International Journal of Comparative Sociology**, v. 62, n. 3, p. 224–240, 2021.

INGLEHART, R. Public Support for Environmental Protection: Objective Problems and Subjective Values in 43 Societies. **PS: Political Science and Politics**, v. 28, n. 1, p. 57–72, 1995.

INGLEHART, R.; ABRAMSON, P. Economic security and value change. **American Political Science Review** 88:336–54, 1994

KIDD, Q.; LEE, A. Postmaterialist values and the environment: A critique and reappraisal. **Social Science Quarterly** 78:1–15, 1997.

LIU, X.; VEDLITZ, A.; SHI, L. Examining the determinants of public environmental concern: Evidence from national public surveys. **Environmental Science & Policy**, maio 2014.

LOUBSER, J. Understanding the role of post-materialism in the trade-off between economic growth and the environment in BRICS countries. **CSSR Working Paper**, n. 424, p. 2, 2018.

NAWROTZKI, R.; PAMPEL, F. Cohort change and the diffusion of environmental concern: A cross-national analysis. **Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies,** 35(1), 1–25, 2013.

STEG, L.; De GROOT, J. Environmental values. In: CLAYTON, SUSAN (Org.). **The Oxford handbook of environmental and conservation psychology**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

VEIGA, L. F.; RIBEIRO, E. A.; PIAIA, V. R. The Environment in Brazil's 2022 Presidential Election. **Revista Brasileira de Ciência Política**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 1-32, 2023.

Anodização da liga AA2024-T3 em eletrólito misto de ácido sulfúrico e succínico: uma estratégia sustentável na proteção à corrosão

Guilherme Kusler Possani[1], Eduardo Luis Schneider[2], Lisete Cristine Scienza[3]
[1] *PPGE3M/UFRGS (guilhermepossani@hotmail.com)*
[2] *PPGE3M/UFRGS (prof.eduardo@ufrgs.br)*
[3] *PPGE3M/UFRGS (lisete.scienza@ufrgs.br)*

Resumo: A anodização é um processo importante na indústria pois melhora significativamente propriedades superficiais de ligas metálicas, como a resistência à corrosão e ao desgaste, além de oferecer menor impacto ambiental em comparação com outras técnicas de revestimento. Recentemente, misturas de dois ou mais ácidos, juntamente com outros aditivos e/ou modificadores, têm sido utilizados nos banhos de anodização para obtenção de um filme de óxido anódico mais protetor. Desta forma, este estudo investigou o efeito da adição de ácido succínico a um tratamento de anodização em ácido sulfúrico na liga de alumínio AA2024-T3. Foram utilizadas espectroscopia de impedância eletroquímica e curvas de polarização potenciodinâmica para a análise do desempenho à corrosão em solução salina. Os resultados obtidos confirmaram a formação de um revestimento protetor contra a corrosão, com o melhor desempenho sendo observado com a adição de ácido succínico, conforme proposto neste estudo.

Palavras-chave: Alumínio. Anodização. Eletrólito misto. Corrosão. Impacto ambiental.

Anodizing of the AA2024-T3 alloy in a mixed electrolyte of sulfuric and succinic acid: a sustainable strategy for corrosion protection

Abstract: Anodizing is an important process in the industry as it significantly improves the surface properties of metal alloys, such as corrosion and wear resistance, while also offering a lower environmental impact compared to other coating techniques. Recently, mixtures of two or more acids, along with other additives and/or modifiers, have been used in the anodizing bath to produce a more protective anodic oxide film. In this context, the present study investigated the effect of adding succinic acid to a sulfuric acid anodizing treatment on the AA2024-T3 aluminum alloy. Electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization curves were used to analyze the corrosion performance in saline solution. The results confirmed the formation of a protective corrosion-resistant coating, with the best performance observed with the addition of succinic acid, as proposed in this study.

Key words: Aluminum. Anodizing. Mixed electrolyte. Corrosion. Environmental impact.

Introdução

O alumínio é o segundo metal mais utilizado e o terceiro mais abundante na Terra. Sua principal fonte é a bauxita, da qual o Brasil detém a quarta maior reserva mundial. Em 2023, o país alcançou uma produção de 1,022 milhão de toneladas de alumínio, de acordo com dados da Associação Brasileira do Alumínio (Heider *et al.*, 2024). Devido às suas características de leveza, durabilidade, resistência à corrosão e intempéries, além de sua infinita reciclabilidade sem perda de propriedades, o alumínio desempenha um papel crucial na sustentabilidade de diversos setores econômicos, como embalagens, transportes, eletricidade, construção civil e bens de consumo.

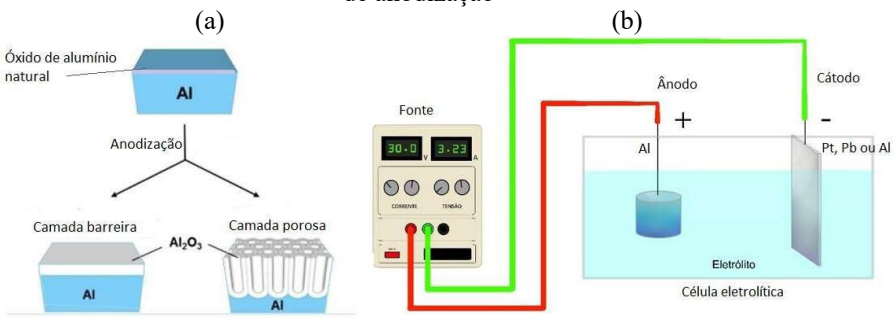
Esse metal também pode ser combinado com outros elementos para formar ligas com propriedades específicas. Em muitas aplicações, a resistência e a proteção desses materiais em ambientes corrosivos são fundamentais (Schneider & Fürbeth, 2022). A corrosão é um processo natural que resulta na degradação das propriedades do material por meio de sua interação química ou eletroquímica com o ambiente. Os custos associados à corrosão podem ser diretos (como substituição de materiais corroídos, manutenção de proteção anticorrosiva, etc.) ou indiretos (como paralisações em fábricas, perdas de eficiência e impactos na produção, entre outros). O aspecto econômico, aliado às questões de segurança e ambientais, tem motivado a comunidade científica a desenvolver novos métodos para mitigar a corrosão (Xhanari & Finsgar, 2019).

Sob condições normais, o alumínio e suas ligas são cobertos por uma fina camada superficial de óxido de alumínio. Embora essa camada de óxido proteja o metal em determinados ambientes, ela pode ser danificada por soluções ácidas ou alcalinas, especialmente aquelas contendo cloretos, levando à corrosão do metal. Entre os tipos mais comuns de corrosão estão a geral, galvânica, por pites, fissuração sob tensão, intergranular e esfoliação. Por isso, diversos métodos têm sido empregados para reduzir a corrosão do alumínio e suas ligas em diferentes ambientes (Xhanari & Finsgar, 2019).

A anodização é amplamente utilizada nos setores aeroespacial, automotivo, construção civil e outros, sendo um processo de acabamento

superficial que forma um óxido anódico protetor contra a corrosão e o desgaste, além de melhorar a adesão de tintas e proporcionar excelente acabamento decorativo (Korzekwa, 2023). Este processo consiste no espessamento da camada de óxido metálico, que pode ser do tipo barreira ou poroso, Figura 1(a), por meio da aplicação de potencial ou de corrente elétrica, como representado na Figura 1(b). A estrutura e as propriedades dessa camada podem ser modificadas pelo controle dos parâmetros operacionais do processo (tensão/corrente, temperatura e tempo) e pela escolha do eletrólito de anodização, incluindo sua concentração e aditivos (Korzekwa, 2023).

Figura 1 – Camadas de óxido na superfície do alumínio e (b) ilustração do processo de anodização



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2019)

Nos últimos anos, a preocupação com o desenvolvimento sustentável tem aumentado consideravelmente, refletindo-se também no setor industrial. O desenvolvimento sustentável visa equilibrar três pilares: econômico, social e ambiental (Jugy et al., 2016). Embora a anodização seja considerada um dos tratamentos de superfície para metais mais amigáveis ao meio ambiente – já que seus efluentes são livres de solventes orgânicos e metais pesados – ainda existem alguns desafios ambientais. O processo pode gerar subprodutos como ácido sulfúrico e resíduos orgânicos, o que exige que as empresas que utilizam a anodização cumpram rigorosamente com as regulamentações ambientais e adotem medidas para minimizar o impacto ecológico.

É importante destacar que o alumínio anodizado, por sua durabilidade e resistência à corrosão, pode resultar em produtos com maior vida útil, o que contribui para a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de CO2 ao longo do tempo, além de não interferir

no processo de reciclagem do alumínio. Os avanços tecnológicos em anodização também visam melhorar a eficiência energética e o uso de recursos, alinhando-se com os princípios do desenvolvimento industrial sustentável (Jothi et al., 2020). Assim, este processo contribui para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da agenda 2030 no Brasil, mais especificamente os ODSs 9 e 12 (Indústria, inovação e infraestrutura; consumo e produção responsáveis, respectivamente). Um exemplo disso é a anodização crômica, um processo amplamente utilizado na indústria aeronáutica, mas que, devido à toxicidade e carcinogenicidade do íon cromato, tem sido substituída por processos sem cromo, com o uso de eletrólitos à base de ácidos orgânicos (ácido tartárico, ácido maleico, ácido sucínico, ácido bórico) e/ou uma combinação de ácido orgânico com ácido sulfúrico (Korzekwa, 2023).

A composição química do banho de anodização, juntamente com os parâmetros de processo, desempenham um papel crucial na melhoria da resistência à corrosão. O uso de ácidos carboxílicos reduz a acidez do banho, afeta a viscosidade do eletrólito e diminui a dissolução do óxido, o que impacta a morfologia da camada anodizada e, consequentemente, nas características anticorrosivas. Apesar da literatura existente sobre o efeito de diferentes ácidos carboxílicos na formação e microestrutura dos filmes anodizados, seu desempenho em termos de resistência à corrosão ainda é pouco explorado (Jothi *et al.*, 2020). Portanto, este estudo se propôs a investigar a influência do ácido succínico no comportamento à corrosão do filme anodizado da liga aeroespacial AA2024-T3. A resistência à corrosão foi avaliada por meio de espectroscopia de impedância eletroquímica e polarização potenciodinâmica em solução de NaCl.

Experimental

Neste estudo foram utilizadas chapas de alumínio AA2024-T3 laminadas a frio fornecidas pela Embraer S.A. A composição química dessas chapas foi analisada por espectroscopia de emissão óptica conforme descrito na Tabela 1. Os ácidos sulfúrico e succínico (com pureza analítica) foram empregados como eletrólitos durante as anodizações. Outros reagentes químicos de pureza analítica também foram empregados durante a preparação das amostras e para a solução salina nas medições eletroquímicas.

Tabela 1 – Composição química da liga AA2024-T3 (% em massa)

Cu	Fe	Mn	Mg	Si	Al
4,24	0,16	0,88	1,51	0,06	Balanço

A preparação das amostras seguiu as etapas descritas na Figura 2, e as nomenclaturas dos tratamentos estão detalhadas na Tabela 2. Os parâmetros aplicados durante a anodização foram mantidos constantes: densidade de corrente de 15 $mA.cm^{-2}$ (controle galvanostático), temperatura de 28 ± 2 °C (banho termostático) e tempo de 30 minutos. Para tanto foi utilizada uma fonte de bancada ICEL PS-5000, sendo a agitação dos eletrólitos realizada por meio de agitador magnético. Os tratamentos foram realizados tanto nas condições sem selagem quanto com selagem hidrotérmica após a etapa de anodização, sendo este procedimento realizado em água fervente durante 30 minutos.

Figura 2 – Preparação de amostras para os tratamentos de anodização

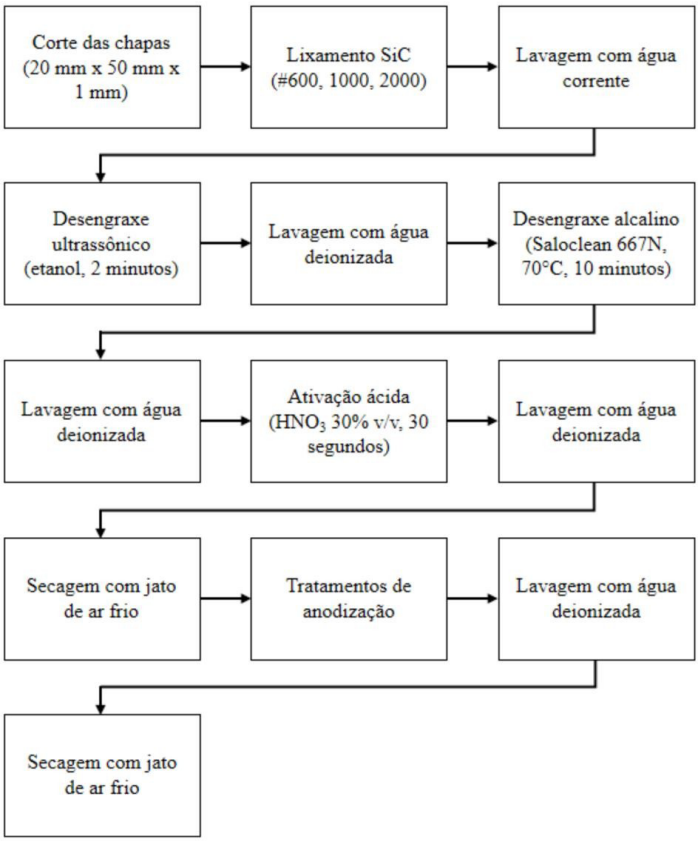


Tabela 2 – Nomenclaturas dos tratamentos de anodização

Tratamento	Descrição
AS	Ácido sulfúrico (185 $g.L^{-1}$)
ASS	Adição de ácido succínico (0,3 M) ao ácido sulfúrico (185 $g.L^{-1}$)

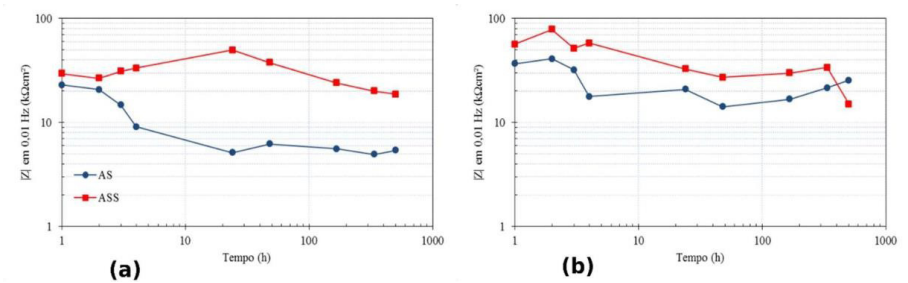
O comportamento eletroquímico das amostras anodizadas foi investigado por meio das técnicas de espectroscopia de impedância eletroquímica e de polarização potenciodinâmica. Para isso, montou-se uma célula eletroquímica com três eletrodos: a amostra como eletrodo de trabalho, um eletrodo de referência de Ag/AgCl e um contraeletrodo de platina. A célula foi conectada a um potenciostato Metrohm (modelo µStat-i 400s), e o software DropView 8400 foi usado para a coleta e análise dos dados. Os ensaios foram realizados em triplicatas em uma faixa entre $1x10^{5}$ e $1x10^{-2}$ Hz, para as impedâncias, e com varredura de potenciais entre -1,0 e $5x10^{-1}$ V a uma taxa de $5x10^{-2}$ $V.s^{-1}$ para as polarizações. Em ambas as técnicas eletroquímicas a área de teste das amostras foi de 0,78 cm^2.

Resultados e discussão

Espectroscopia de impedância eletroquímica

A Figura 3 apresenta os resultados do monitoramento das impedâncias ao longo de 21 dias dos tratamentos AS e ASS. A Figura 3(a) exibe os resultados na condição sem a selagem, enquanto a Figura 3(b) mostra os dados na condição selada em água fervente.

Figura 3 – Monitoramento de impedância dos tratamentos de anodização em solução 0,1 M NaCl durante 21 dias. (a) Sem selagem, (b) Com selagem



Observa-se que o tratamento proposto neste estudo aumentou as impedâncias ao longo do período de análise em ambas as condições testadas (sem e com selagem), com exceção do último ponto de medição (em 504 h) da Figura 3(b). De maneira geral, isso indica que o tratamento ASS proporcionou maior resistência à corrosão em comparação ao

tratamento AS nas condições avaliadas, uma vez que o comportamento eletroquímico de um sistema pode ser relacionado a um circuito elétrico equivalente composto por resistências e capacitores, e, portanto, quanto maior a impedância, maior será a resistência.

Além disso, as impedâncias apresentadas correspondem aos valores obtidos no último ponto de frequência (0,01 Hz), que é comumente utilizado para descrever a resistência do sistema. Outra observação relevante é que ambos os tratamentos mostraram impedâncias significativamente mais elevadas na condição selada, o que corrobora as práticas industriais. Um maior detalhamento das impedâncias obtidas é apresentado nas Figuras 4 e 5 (diagramas de Bode), que ilustram os tratamentos realizados após 1 hora de imersão na solução salina, tanto na condição sem selagem (Figura 4) quanto na condição com selagem (Figura 5).

Figura 4 – Espectroscopia de impedância eletroquímica dos tratamentos de anodização sem selagem após 1 hora de imersão em solução 0,1 M NaCl. (a) Bode (|Z|vs. frequência), (b) Bode (Fase vs. frequência)

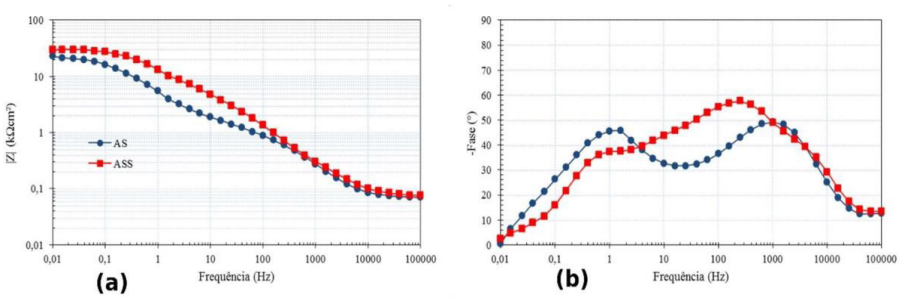
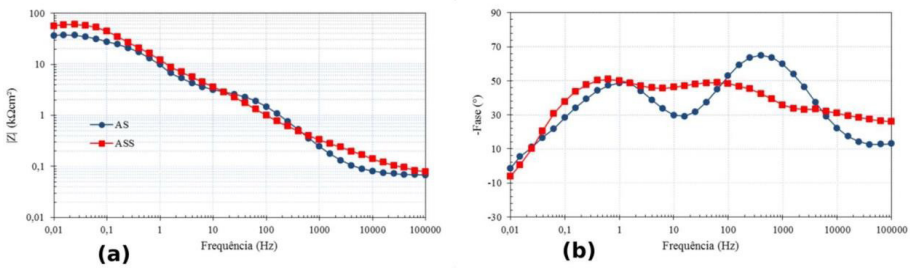


Figura 5 – Espectroscopia de impedância eletroquímica dos tratamentos de anodização com selagem após 1 hora de imersão em solução 0,1 M NaCl. (a) Bode (|Z|vs. frequência), (b) Bode (Fase vs. frequência)



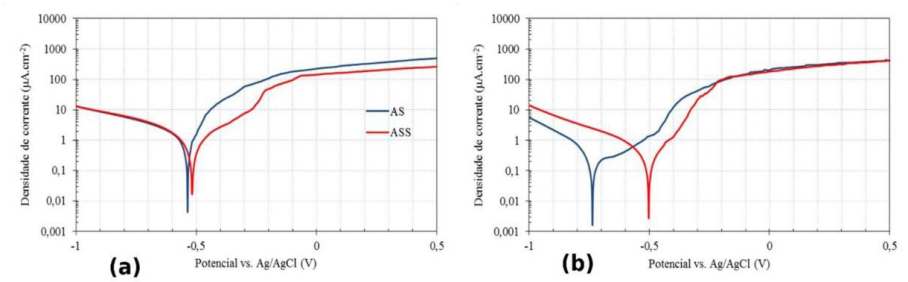
Os tratamentos exibiram um comportamento de impedância bastante semelhante entre si em ambas as condições testadas, com o

tratamento ASS demonstrando um aumento nos valores de impedância não apenas a 0,01 Hz, mas também em outros pontos de baixas frequências. Além disso, os ângulos de fase indicam a presença de pelo menos dois circuitos associados, o que provavelmente é resultado da formação de um óxido anódico poroso, uma estrutura característica de tratamentos de anodização com ácido sulfúrico.

Polarização

Outra técnica eletroquímica utilizada para complementar o estudo em questão foi a polarização potenciodinâmica, realizada após 1 hora de imersão na solução salina. A Figura 6 mostra os resultados obtidos destas medições tanto na condição sem selagem, Figura 6(a), quanto na condição com selagem, Figura 6(b).

Figura 6 – Polarização potenciodinâmica dos tratamentos de anodização após 1 hora de imersão em solução 0,1 M NaCl. (a) Sem selagem, (b) Com selagem



Observa-se inicialmente que ambos os tratamentos na condição sem selagem apresentaram potenciais de corrosão bastante próximos, com densidades de corrente catódicas praticamente idênticas. No entanto, foi observada uma diferença considerável nas densidades de corrente anódicas, sendo as do tratamento ASS menores em comparação com as do tratamento AS. Isso indica uma redução na dissolução da superfície metálica no meio salino, o que corrobora com os resultados das impedâncias.

Na Figura 6(b), o tratamento ASS novamente apresentou menores densidades de corrente anódicas em relação ao tratamento AS, além de manter um potencial de corrosão semelhante ao observado na condição sem selagem. Em contrapartida, o tratamento AS apresentou um deslocamento nos potenciais catódicos, resultando em menores densidades de corrente catódicas quando comparado ao tratamento ASS. De manei-

ra geral, os resultados sugerem que o tratamento proposto neste estudo contribuiu para a redução do processo corrosivo.

Conclusão

A anodização é o tratamento mais importante para a proteção contra a corrosão do alumínio e suas ligas, sendo considerada uma tecnologia sustentável. Isso ocorre devido à sua capacidade de prolongar o ciclo de vida dos produtos, ampliar as possibilidades de aplicação do alumínio, não comprometer sua reciclabilidade e ser menos prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente em comparação com outros métodos de proteção. Dentro do contexto de desenvolvimento de tecnologias mais limpas aplicadas ao tratamento de superfícies metálicas, este estudo investigou a influência da adição de um ácido orgânico (ácido succínico) ao banho de anodização. Os resultados mostraram que a presença de 0,3 M deste ácido aumentou a resistência à corrosão quando comparado ao eletrólito composto exclusivamente por ácido sulfúrico. À medida que a tecnologia avança, as inovações continuam a melhorar tanto a eficiência quanto a pegada ecológica dos processos de anodização. Equilibrar o progresso tecnológico com a responsabilidade ambiental é fundamental para explorar todo o potencial do alumínio anodizado.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao apoio financeiro recebidos do CNPq e FAPERGS para a realização desta pesquisa.

Referências

HEIDER, M.; FONSECA, D.S.; COSTA, M.R.M. Cadeia produtiva da bauxita/alumínio no Brasil. **Revista In the Mine – Gestão de Processos e Tecnologia para Mineração**, n. 112, 2024. Disponível em: https://www.inthemine.com.br/site/cadeia-produtiva-da-bauxita-aluminio-no- brasil/. Acesso em 26/02/2025.

JOTHI, V.; ADESINA, A.Y.; KUMAR, M.; RAM, J.S.N. "Influence of organic acids on the surface and corrosion resistant behavior of anodized films on AA2024 aerospace alloys in artificial seawater. **Metals and Materials International**, v. 26, p. 1611-1620, 2020.

JUGY, C.; JACQUEMIN, L.; VILLEMUR, C.; DELAIRE, M.; GARNIER, S. "Methodology for evaluating the sustainability of products and processes: application to alternative substitution techniques of chromium VI". **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v.10, p. 329-334, 2016.

KORZEKWA, J. "Modification of the structure and properties of oxide layers on aluminium alloys: A review". **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 62, p. 20230108, 2023.

OFOEGBU, S.U.; FERNANDES, F.A.O.; PEREIRA, A.B. “The sealing step in aluminum anodizing: A focus on sustainable strategies for enhancing both energy efficiency and corrosion resistance”. **Coatings**, v. 10, n. 226, p. 1-55, 2020.

PINHEIRO, J. S. **Proteção da Liga 117075-T6 por anodização tartárico-sulfúrica e pós-tratamento com ácido hexafluorozircônico.** 135 f. Dissertação de mestrado – PPGE3M – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SCHNEIDER, M.; FURBETH, W. “Anodizing-The pore makes the difference”. **Materials and Corrosion**, v. 73, p. 1752-1765, 2022.

XHANARI, K.; FINSGAR, M. “Organic corrosion inhibitors for aluminum and its alloys in chloride and alkaline solutions: A review”. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, p. 4646-4663, 2019.

Análise urbana ambiental do bairro São Ciro, Caxias do Sul/RS

Jéssica Pereira Gobi[1], Gisele Cemin[2], Juliano Rodrigues Gimenez[3]
[1]*Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (jpereira9@ucs.br)*
[2]*Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (gcemin3@ucs.br)*
[3]*Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (jrgimene@ucs.br)*

Resumo: Este trabalho propõe uma análise urbana ambiental do bairro São Ciro, em Caxias do Sul, RS, que surgiu como um loteamento irregular associado à instalação da empresa Agrale em 1975. Neste contexto, o objetivo deste estudo fundamentou-se em compreender a evolução da paisagem do bairro e seus impactos na comunidade local. Na análise espacial, foram empregadas técnicas de sensoriamento remoto, cartografia e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para a avaliação histórica, foram consultados documentos, mapas e registros antigos, contribuindo para contextualizar as mudanças observadas ao longo do tempo. Além disso, foi realizado um levantamento de dados socioambientais, considerando fatores como densidade populacional, vegetação nativa, recursos hídricos e Áreas de Preservação Permanente (APPs), os quais compõe aspectos diretamente ligados à qualidade de vida da comunidade. Por fim, o bairro São Ciro apresenta um significativo desenvolvimento urbano, com a substituição de espaços agrícolas por áreas urbanizadas, evidenciando a necessidade de políticas de planejamento que equilibram crescimento urbano e preservação ambiental para garantir a sustentabilidade e proteger a biodiversidade.

Palavras-chave: Expansão urbana. Cartografia. Sensoriamento remoto.

Environmental Urban Analysis of the São Ciro Neighborhood, Caxias do Sul/RS

Abstract: This paper proposes an environmental urban analysis of the São Ciro neighborhood in Caxias do Sul, RS, which emerged as an irregular subdivision associated with the installation of the Agrale company in 1975. In this context, the objective of this study was to understand the evolution of the neighborhood's landscape and its impacts on the local community. Spatial analysis techniques, including remote sensing, cartography, and Geographic Information Systems (GIS), were employed. For the historical assessment, documents, maps, and old records were consulted to contextualize the changes observed over time. In addition, a survey of socio-environmental data was conducted, considering factors such as population density, native vegetation, water resources, and Permanent Preservation Areas (PPAs), which are directly linked to the community's quality of life. Finally, the São Ciro neighborhood shows significant urban development, with the replacement of agricultural spaces by urbanized areas, highlighting the need for planning policies that

balance urban growth and environmental preservation to ensure sustainability and protect biodiversity.

Key words: Urban expansion. Cartography. Remote sensing.

Introdução

A urbanização ocorre de forma acelerada (Tucci, 2008), o que, segundo Parfitt (2016), resulta em um padrão de ocupação ambientalmente insustentável. O modelo de desenvolvimento que predomina nesses processos leva ao uso predatório dos recursos naturais, acarretando sérios impactos ambientais. Nesse cenário, entender essas transformações e seus efeitos é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e para a gestão sustentável dos espaços urbanos (Maricato, 2001). Essa expansão, como apontado por Alves *et al.* (2010), causa aumento na distância entre centro e periferia, o que resulta em mais trânsito, poluição do ar e dificuldades na infraestrutura, como o saneamento básico.

Em Caxias do Sul/RS, a partir do século XX, o crescimento econômico impulsionado pela industrialização transformou a cidade em um importante polo industrial, gerador de empregos e marcado pela forte influência cultural dos imigrantes italianos (Giazzon, 2002). Na década de 1970, o município experimentou uma expansão acelerada, especialmente nas áreas periféricas, como o bairro São Ciro, que até então possuía características predominantemente rurais. Essa transformação levou à urbanização da área, com a construção de novas vias e a implementação da infraestrutura básica, como água, luz e esgoto. No entanto, esses processos geraram impactos ambientais e sociais, alterando as condições de vida dos moradores e da região (Silva, 2018). O bairro São Ciro, que ocupa uma área de aproximadamente 232 hectares, apresenta uma mistura de espaços urbanos e áreas verdes, sendo parte da Zona das Águas (ZAs), instituídas por meio da Lei Complementar nº 27, de 15 de julho de 1996 – Plano Físico Urbano – PFU, onde há restrições quanto ao índice de aproveitamento dos lotes, com o objetivo de proteger as bacias de captação e garantir o abastecimento de água à população.

Neste contexto, o uso da dados de sensoriamento remoto emerge como uma ferramenta valiosa para analisar as transformações no território, permitindo o monitoramento das mudanças no uso do solo e na infraestrutura urbana (Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Imagens de

satélite e outras tecnologias geoespaciais possibilitam a identificação de áreas de risco e os impactos ambientais, fornecendo dados históricos e atualizados que são fundamentais para a tomada de decisões (Silva & Clark, 2002). Esse trabalho utiliza essas tecnologias, juntamente com dados cartográficos e Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), para investigar a evolução histórica e as condições socioambientais do bairro São Ciro, com o objetivo de entender as mudanças na paisagem urbana e suas implicações para a qualidade de vida dos moradores, afim de oferecer uma visão abrangente das dinâmicas que moldaram o bairro e suas perspectivas futuras.

Material e métodos

Este estudo adotou uma análise histórica e socioambiental do bairro São Ciro, localizado em Caxias do Sul, para examinar as mudanças na paisagem urbana e sua interação com o meio ambiente ao longo dos anos. Para isso, foi realizado, primeiramente, uma análise retrospectiva baseada em fontes históricas e cartográficas, seguido por uma avaliação atual utilizando técnicas de sensoriamento remoto e análise geoespacial.

Para a análise histórica, delimitou-se um período de 1955 a 2018, a partir de uma abordagem que integra a análise de dados históricos de sensoriamento remoto e dados geoespaciais. Para essa finalidade, foram utilizadas imagens de satélite e fotografias aéreas fornecidas pelo Primeiro Centro de Geoinformação (1º CGEO) e pelo *Google Earth,* sendo o modo de classificação manual. Além da plataforma GeoCaxias (Caxias do Sul, 2014), a qual fornece dados geoespaciais detalhados que facilitaram a análise das transformações do território do município por meio das folhas cartográficas SH-22-V-D-III-2-SO-B e SH-2-V-D-III-2-NO-F.

Enquanto para a análise referente as bacias de captação da Dal Bó e da Maestra, foram utilizadas as informações do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE).

Em relação a vegetação, conforme estabelecido pela Lei 12.651/2012, de 25 de maio de 2012 e sua atualização Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, foram implementadas áreas de preservação permanente com largura mínima de 30 metros ao longo dos cursos d'água inferiores à 10 metros e 50 metros ao redor das nascentes, visando garantir a proteção e a sustentabilidade dos ecossistemas locais. Ressalta-se que, no uso do solo, classificou-se áreas como agrossilvi-

pastoril e vegetação, a qual não foi realizada distinção entre espécies nativas e exóticas.

Outro dado utilizado para avaliar as mudanças de ocupação do bairro São Ciro foi a declividade. Para tanto utilizou-se a classificação da EMBRAPA (1999), a qual utiliza os seguintes intervalos: relevo plano (0 – 3 %), suave ondulado (3 – 8 %), ondulado (8 – 20 %), forte ondulado (20 – 45%), montanhoso (45 – 75%), e escarpado (>75%).

Já para a análise dos dados, foram empregadas técnicas de processamento de imagens e sistemas de informação geográfica (SIG) (Campbell & Wynne, 2011), os quais foram importados para o *software* QGis, para elaboração dos mapas temáticos. Essas abordagens permitiram a identificação e o mapeamento das alterações no uso e ocupação do solo, além de outras mudanças ambientais significativas no bairro. Além disso, realizou-se uma revisão bibliográfica de fontes secundárias para contextualizar os dados obtidos e fornecer uma compreensão mais profunda das dinâmicas históricas e socioambientais do bairro (Creswell, 2013). A triangulação de dados a partir de diferentes fontes foi realizada para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados (Lakatos & Marconi, 2010).

Resultados e discussão

A partir disso, foi possível realizar a análise urbana ambiental do bairro São Ciro. De acordo com a Figura 1, observa-se a localização do bairro em relação ao município, além de sua inserção em duas bacias de captação: a Dal Bó em 133,68 ha (57,62%) enquanto a Maestra em 82,18 há (34,42%) (Figura 2).

A Figura 3, referente ao ano de 1955, demonstra a área de estudo predominada pelo uso agrossilvipastoril e vegetação nativa, além de apresentar indícios de moradias próximas à única via na área. Entre 1964 e 1980, observou-se o início do processo de ocupação e expansão, caracterizado pela abertura de novas vias em áreas que já apresentavam indícios de uso antrópico. A preferência pela porção sul nesse período inicial está relacionada, em grande medida, à configuração do relevo, que favorecia a ocupação e indicava os locais mais adequados para a implantação de zonas residenciais, comerciais e de lazer (Mendes, 2018).

Em 1979, verificou-se que os vetores de expansão urbana foram o eixo viário da BR 116 e a proximidade da indústria Agrale com esta via, alterando a configuração urbana e reforçando o fenômeno de crescimento urbano (Nunes *et al.*, 2011). Por conseguinte, houve uma perda significativa da área agrícola. Durante a década de 1980, Caxias do Sul vivenciou um notável processo de expansão urbana, impulsionado pelo crescimento industrial e demográfico da região (Silva, 2015). Como resultado direto desse desenvolvimento, o bairro São Ciro também experimentou um período de expansão significativa (Figura 4).

A urbanização acelerada leva à transformação do uso do solo, com áreas agrícolas sendo gradualmente convertidas em áreas urbanas (Oliveira, 2015). A urbanização é uma das principais causas da diminuição das áreas agrícolas (Oliveira & Almeida, 2019), entretanto, conforme a Figura 5, é possível analisar um aumento, novamente, da área agrícola na área de estudo, porém, com variação pouco siusognificativa no contexto da transformação urbana observada.

A consolidação do fim da atividade agrícola ocorreu em 2008, marcando a completa transformação do espaço rural em urbano. Esse processo de conversão de terras agrícolas em áreas urbanas tem se intensificado, impulsionado pela rápida urbanização e pela expansão das cidades (FAO, 2017). A partir de 2011, observa-se que a expansão do bairro atingiu um ponto de estabilização, o que permitiu a preservação contínua da vegetação nativa até os dias atuais (Figuras 6 e 7). Esse resultado pode ser, em parte, atribuído à implementação da Lei nº 11.428, que regula a utilização e a proteção da vegetação nativa no Bioma da Mata Atlântica.

A Tabela 1 e a Figura 8, demonstram a declividade do bairro, com destaque para as classes de declividade 0 a 3% (plano) e 3 a 8% (suave ondulado), as quais estão presentes na porção Sul do bairro, ocupando uma área de 85,05 ha (36,59%), sendo esse o local onde houve os primeiros habitantes. A distribuição espacial de classes de declividade 8 a 20% (ondulado) e 20 a 45% (forte ondulado) estão na maior parte do bairro e ocorrendo em todas as direções, somando 146,02 ha (62,83%). E, por fim, a classe 45 a 75% (montanhoso) está em áreas isoladas no centro e nas bordas, sentido oeste e norte, perfazendo 1,34 ha (0,58%).

Tabela 1 – Distribuição de classes de declividade do bairro São Ciro.

Declividade (%)	Relevo	Área (ha)	Porcentagem (%)
0 – 3	Plano	29,08	12,51
3 – 8	Suave ondulado	55,97	24,08
8 – 20	Ondulado	105,21	45,27
20 – 45	Forte ondulado	40,81	17,56
45 – 75	Montanhoso	1,34	0,58
Total		**232,41**	**100**

Fonte: Autores (2024)

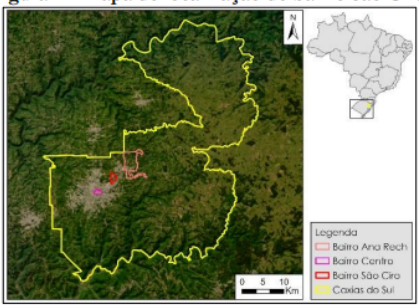
Conforme observado por Beatley (2011), a preservação dos espaços verdes urbanos desempenha um papel crucial na promoção da qualidade de vida nas áreas urbanas. Além disso, a evolução urbana demonstra um progresso na integração de políticas de desenvolvimento humano com a proteção ambiental, essencial para garantir um futuro sustentável para as gerações presentes e futuras (IPEA, 2019).

Por meio da análise das Figuras supracitadas, evidenciou-se que a região do bairro São Ciro apresentou avanços significativos na sua área construída. Além disso, as Figuras destacaram a modificações no uso do solo, em que áreas agrícolas e áreas verdes foram substituídas por uso antrópico. De acordo com Seto *et al.*, (2011), a conversão de terras agrícolas para áreas urbanas compõe um fenômeno cada vez mais comum, impulsionado pelas migrações, êxodo rural e pelo crescimento populacional. Esse fenômeno é um indicativo de como a cidade se desenvolve e se moderniza ao longo do tempo, adaptando-se às demandas crescentes de sua população. A transição de áreas rurais para urbanas frequentemente resulta em uma significativa valorização imobiliária. A transformação da cobertura territorial, devido à urbanização, cria uma demanda crescente por terrenos urbanos, levando a um aumento nos preços da terra e na valorização dos imóveis.

Consequentemente, o aumento da densidade demográfica é uma característica comum da expansão urbana. Conforme as cidades crescem e se desenvolvem, há uma concentração cada vez maior de pessoas em áreas urbanas, resultando em uma maior densidade populacional (Alberti, 2008). A cidade cresceu aceleradamente, passando de uma população de 54 mil em 1950 para 180 mil em 1975 e cerca de 360 mil pessoas em 2000, trazendo consigo paralelamente todos os problemas sociais, culturais, econômicos e ambientais típicos das cidades brasileiras com grande taxa de expansão (Zimmermann, 2006). Atualmente, Caxias do Sul é composta por 463 mil habitantes, se consolidando como o segundo maior município do Rio Grande do Sul em população e importância econômica (IBGE, 2022).

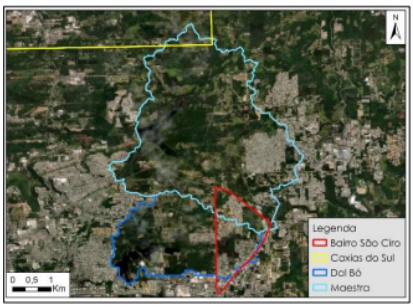
Paralelamente a isso, a expansão urbana frequentemente resulta em uma significativa alteração da vegetação nativa. À medida que as cidades crescem, áreas anteriormente cobertas por vegetação natural são convertidas em espaços urbanizados, levando à fragmentação, degradação e perda de habitats naturais (McDonald *et al.,* 2008). Simultaneamente, resulta em mudanças nos padrões de drenagem, aumento do escoamento superficial, diminuição da infiltração e alteração da qualidade da água, afetando diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos (Arnold & Gibbons, 1996). Diante disso, o Código Florestal desempenha um papel crucial na gestão ambiental e na regulamentação da expansão urbana. Suas disposições estabelecem diretrizes para a preservação de áreas verdes e florestas, influenciando diretamente o planejamento urbano e a ocupação do solo (FAO, 2017). Ademais, estratégias de planejamento urbano que promovem a conservação de áreas de recarga de aquíferos, a proteção de nascentes e a gestão eficiente do uso da água são fundamentais para assegurar a disponibilidade de água potável para as gerações futuras (Brasil, 2006).

Figura 1 – Mapa de localização do bairro São Ciro.



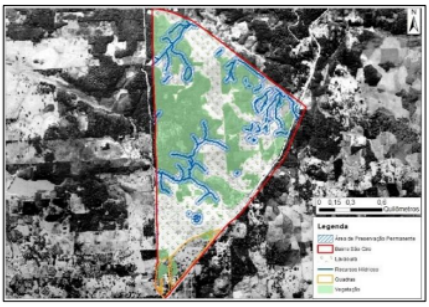
Fonte: Autores (2024)

Figura 2 – Mapa das bacias hidrográficas localizadas no bairro São Ciro.



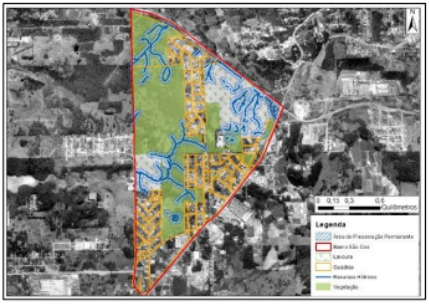
Fonte: Autores (2024)

Figura 3– Mapa do bairro São Ciro referente ao ano 1955.



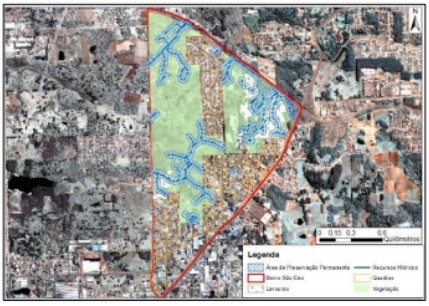
Fonte: Autores (2024)

Figura 4– Mapa do bairro São Ciro referente ao ano 1988.



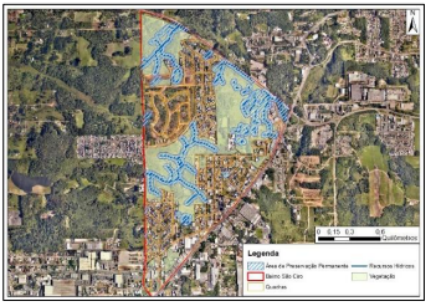
Fonte: Autores (2024)

Figura 5– Mapa do bairro São Ciro referente ao ano 2002.



Fonte: Autores (2024)

Figura 6– Mapa do bairro São Ciro referente ao ano 2011.



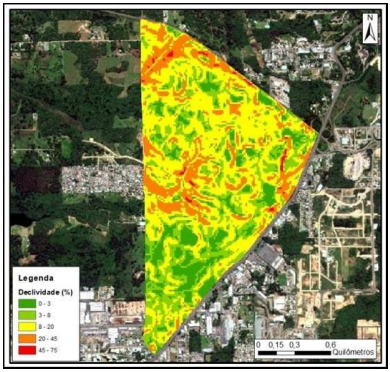
Fonte: Autores (2024)

Figura 7– Mapa do bairro São Ciro referente ao ano 2018.



Fonte: Autores (2024)

Figura 8– Mapa de declividade do bairro São Ciro.



Fonte: Autores (2024)

Conclusão

É perceptível um nível significativo de desenvolvimento urbano do bairro São Ciro, indicando alterações no padrão de ocupação do solo e a substituição gradual de espaços agrícolas e verdes por áreas urbanizadas. Por fim, a análise evidencia o impacto da transformação urbana no bairro São Ciro. Esses dados reforçam a importância da instauração de políticas e estratégias de planejamento urbano que promovam o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, a fim de criar medidas eficazes para mitigar os impactos negativos da urbanização, protegendo a biodiversidade e garantindo a sustentabilidade em áreas urbanas em constante evolução.

Referências

ALBERTI, Marina. Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems. New York: Springer, 2008.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca *et al*. Dinâmicas de urbanização na hiperperiferia da metrópole de São Paulo: análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. Revista Brasileira de Estudos de População, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 141-159, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0102-30982010000100009.

ARNOLD, C. L.; GIBBONS, C. J. Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. Journal of the American Planning Association, v. 62, n. 2, p. 243-258, 1996.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004- 2006/2006/lei/L11428.htm.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponívelem:https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm#art1.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

BEATLEY, T. (2011). Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning. Washington, DC: Island Press.

CAMPBELL, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to Remote Sensing. Guilford Press.

CAXIASDOSUL.GeoCaxias.2014.SEPLAN/DIGEO.Disponívelem: https://gis.caxias.rs.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=136b9a0f5541425b91c6c9b4562be410. Acesso em: 24 de janeiro de 2025.

CAXIAS DO SUL (Município). Constituição (1996). Lei Complementar nº 27, de 15 de julho de 1996. Lei Complementar Nº 27 de 15 de julho de 1996. Caxias do Sul, RS, 15 jul. 1996. Disponível em: http://leismunicipa.is/obnkg.

CRESWELL, J. W. (2013). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4th ed.). SAGE Publications.

EMBRAPA. Classificação de Solos do Estado de São Paulo. 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: FAO.

GIAZZON, E. M. A.. Caracterização e intervenções em núcleos de sub habitação no município de Caxias do Sul. 2002. Monografia (Especialização em Desenvolvimento Urbano e Gestão Ambiental) – Universidade da Região de Joinville, Joinville.

GOOGLE EARTH. (2023). Google Earth Pro. Disponível em: https://www.google.com/earth/ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Caxias do Sul, Censo demográfico. Retirado de: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/caxias-dosul.html.

IPEA.(2019).AtlasdoDesenvolvimentoHumanonoBrasil2019. Disponívelem: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/

LAKATOS, E. M., & Marconi, M. de A. (2010). Fundamentos de Metodologia Científica (7ª ed.). Atlas.

MARICATO, E. (2001). O impasse da política urbana no Brasil. Petrópolis, RJ: Vozes.

MCDONALD, R. I., KAREIVA, P., & FORMAN, R. T. (2008). The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. Biological Conservation, 141(6), 1695-1703. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.025

MENDES, J. C. Geografia Urbana: Teoria e Prática. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

NUNES, M. F. *et al*. URBANIZAÇÃO E EXPANSÃO INDUSTRIAL EM CAXIAS DO SUL. Rio de Janeiro, p. 1-21. XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR 23 a 27 Maio de 2011 Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

OLIVEIRA, L. M. (2015). Impactos da Urbanização no Uso do Solo e na Agricultura: Estudo de Caso em Regiões Periurbanas. Revista Brasileira de Geografia Urbana, 20(1), 65-80.

OLIVEIRA, T. P., & ALMEIDA, V. R. (2019). Desafios da Urbanização e a Preservação de Terras Agrícolas. Revista Brasileira de Planejamento Urbano, 12(4), 101-118.

PARFITT, C. M. Áreas de preservação do ambiente natural urbano, segregação e impacto nas paisagens e na biodiversidade: estudo de caso de Pelotas. R. Ra‟e Ga. Curitiba, v. 37, p.7-36, 2016. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/39203. Acesso em: 29 de janeiro de 2025.

PONZONi, FJ & SHIMABUKURO, YE (2007). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese.

SAMAECAXIAS. Área de Preservação Permanente. Disponível em: https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10044.

Seto, K. C., Fragkias, M., Guneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. PLOS ONE, 6(8), e23777. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777.

SILVA, EA & CLARKE, KC (2002). Calibração do modelo de crescimento urbano SLEUTH para Lisboa e Porto, Portugal. Computadores, Meio Ambiente e Sistemas Urbanos, 26(6), 525-552.

SILVA, J. M. (2015). Transformações Urbanas em Caxias do Sul: Um Estudo sobre o Período de 1980 a 1990. Revista Brasileira de Geografia Urbana, 20(2), 65-80.

SILVA, JP (2018). Transformações Urbanas e Socioambientais no Bairro São Ciro, Caxias do Sul: Um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, São Paulo, Brasil, v. 22, n. 63, p. 97– 112, 2008. Disponível em: https://revistas.usp.br/eav/article/view/10295.

ZIMMERMANN, S. A. Políticas de Abastecimento Alimentar na Perspectiva da Segurança Alimentar: O Programa de Abastecimento Alimentar de Caxias do Sul. Rio de Janeiro: Seropédica, agosto de 2006. Disponível em: https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/tede/613

Análise dos Serviços de Saneamento em São Francisco de Paula através da revisão de indicadores e aplicação do Índice de Salubridade Ambiental

Gabriela Tavares Santiago[1], Tiago Panizzon[2], Juliano Gimenez Rodrigues[3]
[1]*Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (gtsantiago@ucs.br)*
[2] *Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (tpanizzo@ucs.br)*
[3] *Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul (jrgimene@ucs.br*

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise dos serviços de saneamento e gestão ambiental no município de São Francisco de Paula, abordando as áreas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. O saneamento básico é um desafio crítico no Brasil, especialmente em regiões onde a infraestrutura é limitada e as desigualdades impactam diretamente a saúde pública e o meio ambiente. A pesquisa utiliza dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Censo IBGE 2022 e de planos municipais e estaduais de saneamento para diagnosticar a infraestrutura existente e identificar os principais desafios. Adicionalmente, o Índice de Salubridade Ambiental (ISA) foi aplicado como ferramenta de avaliação das condições ambientais do município, considerando sete indicadores principais. Os resultados revelam lacunas significativas na cobertura e eficiência dos serviços, com destaque para o baixo índice de coleta e tratamento de esgoto e para as fragilidades no manejo de resíduos sólidos. A análise comparativa demonstra que, embora o município apresente avanços em algumas áreas, ainda está aquém das metas estabelecidas pelos planos nacionais e estaduais de saneamento. Conclui-se com propostas de melhoria das estratégias de gestão e planejamento territorial, visando à universalização dos serviços e à promoção da qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Saneamento Básico, Diagnóstico Ambiental, Planejamento Municipal

Analysis of Sanitation Services in São Francisco de Paula through Indicator Review and Application of the Environmental Salubrity Index

Abstract: This study presents an analysis of sanitation services and environmental management in the municipality of São Francisco de Paula, focusing on water supply, wastewater treatment, solid waste management, and urban drainage. Sanitation remains a critical challenge in Brazil, particularly in regions where limited infrastructure and social inequalities directly affect public health and the environment. The research draws on data from the National Sanitation

Information System (SNIS), the 2022 IBGE Census, and both municipal and state-level sanitation plans to diagnose the current infrastructure and identify key challenges. Additionally, the Environmental Salubrity Index (ISA) was applied as an assessment tool to evaluate the municipality's environmental conditions across seven core indicators. The results highlight significant gaps in service coverage and efficiency, especially regarding the low levels of wastewater collection and treatment and weaknesses in solid waste management. The comparative analysis shows that, while the municipality has made progress in certain areas, it still falls short of the targets established by national and state sanitation policies. The study concludes with proposed improvements in management and territorial planning strategies aimed at achieving universal access to sanitation services and enhancing the population's quality of life.

Key words: Basic Sanitation, Environmental Assessment, Municipal Planning

Introdução

De acordo com a Lei 11.445/2007 e sua atualização pela Lei 14.026/2020, o saneamento básico compreende as atividades de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana (Brasil, 2007; Brasil, 2020). Ainda, a Lei 14.026/2020 estabelece metas de universalização para 2033, visando atender 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto (Brasil, 2020). Conforme reforçado por Anton e Bozza (2024), esses serviços são essenciais para a saúde pública e a dignidade humana, havendo relação entre saneamento, equidade social e desenvolvimento.

São Francisco de Paula, município localizado no estado do Rio Grande do Sul, com área territorial de 3.317,794 km², caracteriza-se por uma combinação de áreas urbanas e rurais que influenciam diretamente as demandas por serviços de saneamento e gestão ambiental. Apesar de progressos em algumas áreas, o município ainda enfrenta significativas lacunas na infraestrutura e gestão dos sistemas, refletindo desafios típicos de localidades com baixa densidade demográfica e extensas áreas territoriais.

Este trabalho tem como objetivo analisar os serviços de saneamento e gestão ambiental de São Francisco de Paula, abordando abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Para tanto, realiza-se um diagnóstico baseado em indicadores obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Censo IBGE 2022, entre outras fontes, comparando-os com as metas estabelecidas em planos estaduais e nacionais, como o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSB) e o Plano Estadual de Saneamento

do Rio Grande do Sul (PLANESAN-RS) (SNIS, 2025; IBGE, 2025; Brasil, 2022; Rio Grande Do Sul, 2022). Além

disso, o estudo apresenta a aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA) como ferramenta para avaliar as condições ambientais do município e identificar os principais desafios e oportunidades para a melhoria dos serviços analisados. A introdução de metodologias de avaliação e a comparação de dados ao longo do tempo visam embasar propostas para o aprimoramento das estratégias de planejamento e gestão territorial, contribuindo para a sustentabilidade e a qualidade de vida da população local.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

São Francisco de Paula abrange uma área de 3.317,79 km², com uma população de 21.893 habitantes e uma baixa densidade demográfica, de 6,6 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2025). O município é composto pela sua sede e 6 distritos: Cazuza Ferreira, Juá, Lageado Grande, Eletra, Tainhas e Rincão dos Kroeff e 2 Núcleos Urbanos: Apanhador e Recosta. Segundo o Censo de 2022, a maior parte da população (71,71%) está concentrada na zona urbana, enquanto os 28,29% restantes residem em áreas rurais. Essa distribuição reflete a característica do município, que combina atributos urbanos com extensas regiões rurais, influenciando diretamente as estratégias de planejamento e gestão territorial.

Origem dos Dados

As informações relativas ao saneamento básico utilizados na elaboração do diagnóstico preliminar do município foram obtidos a partir dos levantamentos autodeclarados do Censo IBGE 2022, complementados por informações dos sistemas DATASUS e Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), os quais fornecem indicadores relacionados à qualidade dos serviços e situação sanitária (IBGE, 2025; DATASUS, 2025; SNIS,2025). A análise foi realizada de forma temporal, comparando os dados do município com os indicadores do estado, da região Sul e do Brasil expressos no PLANSB e PLANESAN-RS (Brasil, 2022; Rio Grande do Sul, 2022). Além disso, foi feita a revisão dos planos municipais, como o Plano Municipal de Gestão Integrada

de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e o Plano Municipal de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (PMAED), a fim de embasar o diagnóstico e identificar as principais lacunas e desafios para a melhoria do saneamento no município (São Francisco de Paula, 2012; São Francisco de Paula, 2019).

Cálculo do Índice de Salubridade Ambiental – ISA

O Índice de Salubridade Ambiental (ISA), conforme definido pela SEMA (2021), é uma ferramenta quantitativa utilizada para avaliar a salubridade ambiental dos municípios, possibilitando comparações entre diferentes localidades e análise de sua evolução ao longo do tempo. O ISA é composto por sete indicadores principais, que abrangem diferentes aspectos dos serviços de saneamento e saúde ambiental: Indice de Abastecimento de Água (IAG), Indice de Esgotamento Sanitário (IES), Indice de Manejo de Resíduos Sólidos (IRS), Indice de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (IDRU), Indice de Socioeconômico (ISE), Indice de Institucional (II) e Indice de Controle de Vetores (ICV). Os indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos receberam os maiores pesos, de 25% cada, enquanto o IDRU recebeu peso de 10% e os demais apresentaram peso de 5% cada.

Os dados utilizados para o cálculo do ISA foram obtidos a partir de informações disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e de dados primários fornecidos pelo município. A metodologia para cálculo seguiu as diretrizes da SEMA (2022) e foi sistematizada em planilhas. O Índice de Controle de Vetores (ICV) exigiu uma abordagem alternativa, uma vez que não há metodologia oficial estabelecida por SEMA (2021) para ele. Nesse caso, desenvolveu-se uma metodologia própria, baseada em outras metodologias usualmente adotadas no Brasil, que considera a ocorrência de dengue, esquistossomose e leptospirose nos últimos cinco anos, conforme descrito pela Equação 1. Em caso de existência pontua-se 0 e ausência pontua-se 1. Por fim, o cálculo do valor global do ISA foi realizado por meio de uma média ponderada dos sete indicadores, com pesos diferenciados atribuídos conforme sua relevância.

(1)
$$ICV = \left(\frac{\left(\frac{dengue + leptospirose}{2} \right) + esquitossomose}{2} \right)$$

Resultados

Abastecimento de água

A partir do levantamento de dados, constatou-se que o sistema de abastecimento coletivo de água do município de São Francisco de Paula atende principalmente à sede urbana. De acordo com os dados do Censo 2022 do IBGE (2025), 5.817 domicílios possuem ligação à rede geral de distribuição de água e utilizam essa rede como a principal forma de abastecimento. No entanto, 330 domicílios também estão conectados à rede, mas dependem de outras fontes de abastecimento como principal forma de captação, e 1.865 domicílios não possuem qualquer ligação à rede geral, utilizando fontes alternativas de abastecimento. Entre os domicílios não conectados à rede geral, a Tabela 1 apresenta as formas de abastecimento mais comuns.

Tabela 1 – Formas de abastecimento de água nos domicílios sem ligação à rede geral em São Francisco de Paula (2022)

Forma de Abastecimento	Domicílios	Percentual
Poço profundo ou artesiano	480	25,7%
Poço raso, freático ou cacimba	298	16,0%
Fonte, nascente ou mina	1064	57,1%
Carro-pipa	2	0,1%
Água da chuva armazenada	4	0,2%
Rios, açudes, córregos, lagos e igarapés	12	0,6%
Outra	5	0,3%

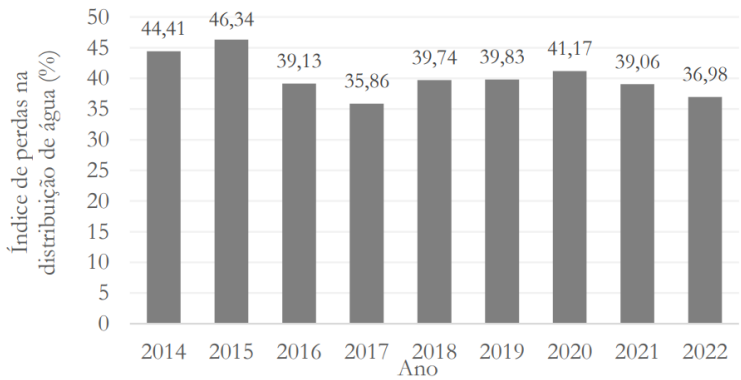
Fonte: Adaptado de IBGE (2025)

A predominância do uso de fontes, nascentes ou minas, que são mais propensas à contaminação devido à sua localização, indica a necessidade de monitoramento sistemático da qualidade da água nessas áreas. Em localidades sem sistemas coletivos de abastecimento, a

população depende frequentemente de fontes de água como poços e cursos d'água, que podem estar expostos a contaminações químicas, biológicas ou antrópicas, aumentando os riscos à saúde pública (Brasil, 2006). O planejamento cuidadoso e a proteção dos mananciais são essenciais para garantir um fornecimento de água seguro e sustentável, prevenindo a degradação dos recursos hídricos (Machado, 2013).

As perdas no sistema de distribuição de água estão apresentadas na Figura 1, para o último ano de registro, 2022, esse índice foi de 36,9% (SNIS, 2025). Observa-se que de 2014 para 2022 o município registrou uma redução no índice de perdas de água, de 44,41% para 36,98%. Apesar de oscilações, o município apresentou uma tendência geral de progresso na gestão hídrica. Comparando com os índices médios de 2022, São Francisco de Paula ficou abaixo do Rio Grande do Sul (39,5%) e da média nacional (37,78%), mas ainda um pouco acima da Região Sul (36,65%). A meta nacional, conforme o PLANSAB é reduzir as perdas para 31% até 2033, um patamar que reflete eficiência no sistema de distribuição (Brasil, 2022). Desta forma, o índice de São Francisco de Paula ainda está aquém da meta, mas demonstra que o município está caminhando em direção a ele.

Figura 1 – Histórico do Índice de perdas na distribuição de água em São Francisco de Paula



Fonte: Adaptado de SNIS (2025)

Coleta e Tratamento de Efluentes Domésticos

São Francisco de Paula não possui infraestrutura pública de coleta e tratamento de efluentes domésticos, o que resulta em uma grande parte da população utilizando formas alternativas de disposição de esgoto.

De acordo com o Censo IBGE (2022), conforme a Tabela 2, 46,4% dos domicílios estão conectados à rede geral ou pluvial, ou possuem fossa ligada à rede, enquanto 39,4% utilizam fossa séptica ou fossa filtro não ligada à rede (usualmente, sumidouro).

Tabela 2 – Tipo de esgotamento em São Francisco de Paula.

Tipo de esgotamento	Domicílios	Percentual
Rede geral, pluvial ou fossa ligada à rede	3.716	46,4%
Fossa séptica ou fossa filtro não ligada à rede	3.154	39,4%
Fossa rudimentar ou buraco	850	10,6%
Vala	226	2,8%
Rio, lago, córrego ou mar	42	0,5%
Outra forma	22	0,3%

Fonte: Adaptado de IBGE (2025)

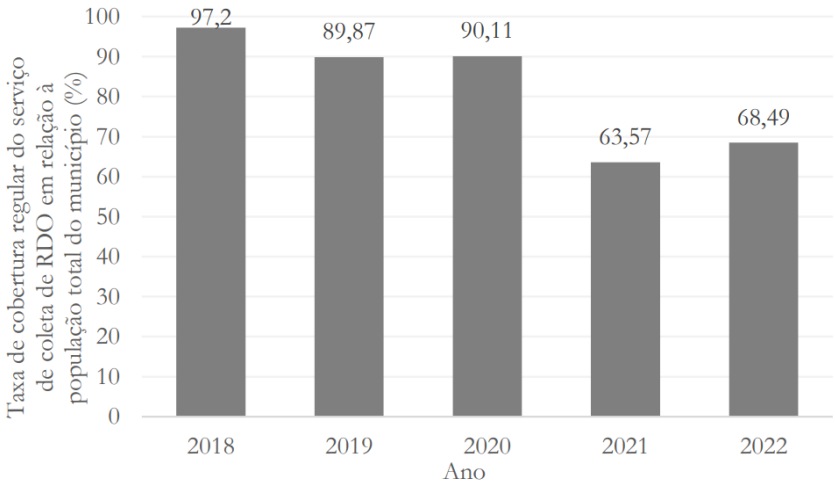
São Francisco de Paula enfrenta desafios significativos no tratamento de esgoto em comparação aos dados nacionais, apresentando uma realidade distante das metas do PLANSAB, que estabelece alcançar 93% de tratamento do esgoto coletado até 2033. Em 2020, enquanto o Brasil atingiu 50,8% e a região Sul apenas 46,7%, municípios com menos de 20.000 habitantes, segundo o PLANESAN-RS, apresentam taxas médias de 7% a 8% (Rio Grande do Sul, 2022). São Francisco de Paula, com uma população de 21.893 habitantes e atendido pela CORSAN, reflete esse padrão, evidenciando as dificuldades de implementar sistemas coletivos eficientes em municípios de menor porte, o que compromete a qualidade ambiental e a saúde pública local. O desafio é ainda maior nos distritos, que frequentemente carecem de infraestrutura básica, agravando a dispersão de fontes poluidoras e dificultando a gestão integrada do esgotamento sanitário.

Para mitigar esses problemas, o PMAED prevê a implantação de infraestrutura de coleta de esgoto, incluindo redes e estações elevatórias, tanto na sede quanto nos distritos. Também estão previstas a elaboração de projetos executivos e a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nessas áreas, assegurando o tratamento adequado dos efluentes. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de análises regulares e a implementação de um sistema de monitoramento da qualidade do efluente, em conformidade com a legislação vigente (São Francisco de Paula, 2019).

Manejo de Resíduos sólidos

A gestão de resíduos sólidos em São Francisco de Paula enfrenta desafios significativos, principalmente devido à ausência de coleta seletiva e de infraestrutura adequada para triagem, o que limita a reciclagem e a recuperação de materiais. Apesar da abrangência da coleta de resíduos no município, a taxa de cobertura regular do serviço de coleta de resíduos domiciliares orgânicos (RDO) apresentou variações marcantes nos últimos anos. Em 2018, a cobertura era de 97,2%, mas caiu para 63,57% em 2021, subindo novamente para 68,49% em 2022 (SNIS, 2022), conforme apresentado na Figura 2. Uma possível explicação para essa variação é a mudança no critério de cálculo, que pode ter passado a considerar todo o território municipal em vez de apenas a área urbana, onde geralmente se concentra a coleta de resíduos orgânicos.

Figura 2 – Taxa de cobertura regular do serviço de coleta de RDO em relação à população total de São Francisco de Paula



Fonte: Adaptado de SNIS (2025)

A ausência de coleta seletiva em São Francisco de Paula compromete a implementação de práticas sustentáveis que reduzam o descarte inadequado de resíduos e promovam a reciclagem. A coleta seletiva é essencial para o reaproveitamento de materiais recicláveis, diminuindo a pressão sobre aterros sanitários e mitigando os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. Além disso, iniciativas dessa natureza são fundamentais para conscientizar a população sobre a separação de

resíduos sólidos, estimular a educação ambiental, gerar oportunidades de trabalho e renda e contribuir para a preservação dos recursos naturais (Bensen, 2006).

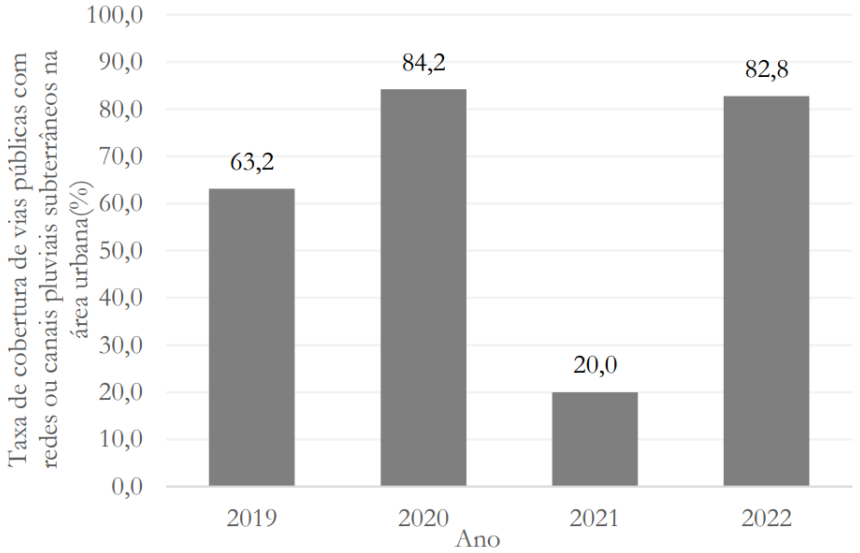
Em nível nacional, apenas 36,3% dos municípios contavam com programas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares secos em 2020. Na região Sul, esse percentual foi superior, alcançando 60,9%, o que demonstra um maior alinhamento dessa região às melhores práticas de gestão ambiental (Brasil, 2022). A existência de coleta seletiva é mais comum em municípios com maior porte populacional, com 70% dos municípios do Rio Grande do Sul que possuem entre 20 e 60 mil habitantes adotando esse serviço. Em contrapartida, a coleta seletiva direta é menos frequente em municípios menores, sendo muitas vezes substituída por iniciativas indiretas (Rio Grande do Sul, 2022).

Drenagem de Águas Pluviais

A drenagem urbana em São Francisco de Paula enfrenta desafios significativos, refletidos tanto na cobertura insuficiente quanto na ausência de um sistema de monitoramento eficiente. Embora o município possua um sistema de drenagem implementado, ele carece de um cadastro georreferenciado, o que dificulta o controle da infraestrutura existente e compromete sua eficiência. A cidade apresenta uma parcela de área urbana de apenas 1,1% da área total, com uma densidade urbana de 2,00 domicílios por hectare e uma taxa de pavimentação de 73,5% (SNIS, 2022).

Os alagamentos na área central do distrito-sede relatados no PMAED-SFP são reflexos dessa infraestrutura insuficiente, intensificada pelo aumento da impermeabilização do solo. Entre 2019 e 2022, a taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana apresentou variação, conforme mostrado na Figura 3, demonstrando oscilações na capacidade do município de lidar com a drenagem pluvial.

Figura 3 – Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana de São Francisco de Paula



Fonte: Adaptado do SNIS (2025)

Os dados apontam uma discrepância no preenchimento das informações relacionadas à taxa de cobertura do sistema de drenagem. Embora os números indiquem um pico em 2020 de 84,2%, seguido por uma queda acentuada para 20% em 2021 e uma recuperação para 82,8% em 2022, essas variações são pouco plausíveis, considerando que a infraestrutura de drenagem não sofre alterações significativas em curto prazo. A resolução dos problemas de drenagem urbana é fundamental para a melhoria da qualidade de vida no município, prevenindo alagamentos, protegendo a infraestrutura urbana e promovendo um desenvolvimento mais sustentável.

Índice de Salubridade Ambiental – ISA

O valor final obtido para o Índice de Salubridade Ambiental do município foi de 0,78, com referência ao ano de 2022. A redução no valor do índice se deu principalmente devido à inexistência de infraestrutura para tratamento dos esgotos domésticos (IES). Na Tabela 4 constam os valores dos indicadores individuais do ISA. A condição de salubridade é classificada como insalubre (pontos de 0-0,25), baixa salubridade (0,251-0,55), média salubridade (0,551 –0,75) e salubre

(0,751 –1), desse modo o município pode ser classificado como salubre (Maccarini; Henning, 2018).

Tabela 3 – Indice de Salubridade Ambiental de São Francisco de Paula

	INDICADORES	NOTA	ISA FINAL
IAG	INDICADOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	1,00	**0,78**
IES	INDICADOR DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	0,50	
IRS	INDICADOR DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	0,84	
IDRU	INDICADOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS	0,84	
ISE	INDICADOR SOCIOECONÔMICO	0,69	
II	INDICADOR INSTITUCIONAL	0,55	
ICV	INDICADOR DE CONTROLE DE VETORES	1,00	

Fonte: Autores (2025)

Conclusão

O diagnóstico apresentado evidencia os principais desafios enfrentados por São Francisco de Paula na busca por padrões adequados de saneamento básico e gestão ambiental. Embora o município registre avanços relevantes, como a redução das perdas no sistema de abastecimento de água, persistem fragilidades estruturais importantes, entre elas a ausência de infraestrutura para coleta e tratamento de esgoto e a inexistência de um sistema de coleta seletiva. Diante desse cenário, os dados reforçam a necessidade de universalização dos serviços de saneamento, conforme estabelecido pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (Água potável e saneamento), e evidenciam a urgência de ações articuladas entre os setores de meio ambiente, saúde e infraestrutura.

Recomenda-se o fortalecimento de campanhas de educação ambiental e a realização de diagnósticos participativos junto à população. Ainda, destaca-se a importância da implantação de coleta seletiva e da Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). As propostas aqui apresentadas estão em consonância com as metas do Plano Municipal de Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário e Drenagem (PMAED-

SFP), bem como com as diretrizes do PLANESAN-RS, refletindo um planejamento integrado em diferentes horizontes temporais. A efetiva implementação de soluções intersetoriais, baseadas em políticas públicas estruturadas, será essencial para elevar os indicadores de salubridade ambiental do município. Investimentos em infraestrutura, educação ambiental e monitoramento contínuo são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos serviços, a preservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida da população de São Francisco de Paula.

Referências

ANTON, Edgar; BOZZA, Roseli de Fátima Bialeski. Dignidade da pessoa humana e o direito à cidade sustentável: saneamento básico como meio para concretizar o direito à cidade sustentável. Revista Foco, v. 17, n. 11, p. 1-20, 6 nov. 2024.

BESEN, Gina Rizpah. Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo: desafios e perspectivas. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BRASIL. Lei nº 11445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Lei 11445. Brasília, 05 jan. 2007

BRASIL. Constituição (2020). Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984 [...]. Lei 14026. Brasília, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento (org.). Plano Nacional de Saneamento Básico: relatório de avaliação anual 2020. 2022. 118 p.

DATASUS. Departamento de Informação e Informática do SUS. Informações de Saúde – TABNET. Brasília: Ministério da Saúde, 2025. Disponível em: https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/. Acesso em: 17 fev. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-francisco-de-paula/panorama. Acesso em: 10 fev. 2025.

MACCARINI, Marta Beatriz; HENNING, Elisa. Indicadores de Salubridade Ambiental: Uma análise sistemática. Scientia Cum Industria, Sl, v. 6, n. 3, p. 44-49, jun. 2018.

MACHADO, Cristyano Ayres. Monitoramento e modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Siriri Vivo-SE. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Curso

de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Governo Estadual do Rio Grande do Sul. Secretária de Estado do Meio Ambiente e Infraestrutura (org.). Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul: relatório preliminar. 2022. 244 p.

SÃO FRANCISCO DE PAULA. Prefeitura Municipal de São Francisco de Paula. Plano Municipal de Água, Esgoto e Drenagem de São Francisco de Paula: relatório técnico. 2019. 612 p.

SÃO FRANCISCO DE PAULA. Prefeitura Municipal de São Francisco de Paula. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: relatório técnico. 2012. 117 p.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2022. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis. Acesso em: Acesso em: 10 fev. 2025.

A lixiviação de nutrientes e seus impactos ambientais: percepção dos produtores rurais sobre a fertilidade do solo em Campestre da Serra/RS

Renata Cornelli[1], Bruna Teixeira Suzin[2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul – UCS (btsuzinucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul – UCS (rcornell@ucs.br)*

Resumo: A qualidade do solo é essencial para uma agricultura sustentável, mas a intensificação agrícola e o uso excessivo de fertilizantes ameaçam os recursos naturais, agravados por eventos climáticos extremos que intensificam a lixiviação de nutrientes. Este estudo, realizado em Campestre da Serra/RS, busca entender a percepção dos moradores rurais sobre os impactos dessa lixiviação. Foram avaliadas características ambientais locais, como geologia, hidrografia, pedologia, clima, vegetação e uso do solo, além de características físicas do terreno, como a clinografia. A metodologia principal consistiu na aplicação de um questionário a 21 agricultores locais para avaliar a percepção sobre a perda de nutrientes. As perguntas abordaram a frequência de uso de fertilizantes químicos e orgânicos, o conhecimento sobre práticas agrícolas sustentáveis, os obstáculos enfrentados para implementá-las e sugestões para promover a sustentabilidade. As respostas foram analisadas considerando variáveis como idade, escolaridade e experiência agrícola dos participantes. Os resultados identificaram as práticas agrícolas mais eficazes para a região e propuseram recomendações específicas, como o uso de adubos orgânicos, sistemas de plantio direto, plantas de cobertura e rotação de culturas. Essas práticas promovem uma agricultura sustentável que equilibra produtividade e preservação ambiental, garantindo a saúde do solo e dos ecossistemas locais a longo prazo.

Palavras-chave: Lixiviação de nutrientes. Fertilidade do solo. Impactos Ambientais. Fertilizantes.

The Leaching of Nutrients and Its Environmental Impacts: Perception of Rural Producers on Soil Fertility in Campestre da Serra/RS

Abstract: Soil quality is essential for sustainable agriculture, but agricultural intensification and excessive use of fertilizers threaten natural resources, exacerbated by extreme weather events that intensify nutrient leaching. This study, conducted in Campestre da Serra/RS, aims to understand the perception of rural residents about the impacts of this leaching. Local environmental characteristics such as geology, hydrography, pedology, climate, vegetation,

and land use, as well as physical terrain characteristics like clinography, were evaluated. The main methodology consisted of applying a questionnaire to 21 local farmers to assess their perception of nutrient loss. The questions addressed the frequency of use of chemical and organic fertilizers, knowledge of sustainable agricultural practices, obstacles to implementing them, and suggestions for promoting sustainability. Responses were analyzed considering variables such as age, education level, and agricultural experience of the participants. The results identified the most effective agricultural practices for the region and proposed specific recommendations, such as the use of organic fertilizers, no-till systems, cover crops, and crop rotation. These practices promote sustainable agriculture that balances productivity and environmental conservation, ensuring the long-term health of the soil and local ecosystems.

Key words: Nutrient leaching. Soil fertility. Environmental impacts. Fertilizers.

Introdução

A intensificação da agricultura e o uso excessivo de fertilizantes representam desafios críticos à preservação do solo e da água, especialmente em um contexto de mudanças climáticas (FAO, 2022). Eventos climáticos extremos, como o El Niño, podem exacerbar esses impactos, acelerando a lixiviação de nutrientes e comprometendo a qualidade ambiental (IPCC, 2021). Segundo Sparks (2002), a dinâmica dos nutrientes no solo é altamente sensível a práticas agrícolas inadequadas, enquanto White (2005) ressalta que a lixiviação não apenas remove elementos essenciais para as plantas, como nitrogênio e fósforo, mas também os transporta para lençóis freáticos, gerando eutrofização e contaminação de corpos hídricos (Smith *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis tem ganhado destaque em políticas públicas e na agenda científica, visando equilibrar produtividade, conservação dos recursos naturais e proteção da biodiversidade (Pretty, 2007; Tilman *et al.*, 2019). No Brasil, onde a agricultura é um pilar econômico, a busca por sistemas de manejo integrado e agricultura de baixo carbono tem sido incentivada por programas como o Plano ABC+ (Brasil, 2022). Essa discussão é particularmente relevante para municípios como Campestre da Serra (RS), cuja economia está fortemente vinculada à fruticultura (IBGE, 2022). O crescimento do setor, aliado ao uso intensivo de fertilizantes químicos, tem elevado os riscos de degradação do solo e perda de nutrientes por lixiviação (Leite *et al.*, 2021).

No entanto, a transição para práticas sustentáveis enfrenta obstáculos além dos técnicos. Estudos recentes destacam que a lixiviação de

nutrientes eleva custos de produção em até 20% (Ulrich *et al.*, 2021), enquanto a adoção de tecnologias de precisão esbarra em limitações de acesso a crédito (World Bank, 2023). Em regiões como Campestre da Serra, onde a fruticultura é a base econômica (IBGE, 2022), entender essas barreiras é essencial para políticas eficazes.

Nesse contexto, este estudo buscou avaliar a percepção dos produtores rurais de Campestre da Serra sobre os impactos da lixiviação na fertilidade do solo, utilizando questionários estruturados. A abordagem permitiu analisar práticas agrícolas locais, o conhecimento empírico sobre sustentabilidade e os desafios na adoção de medidas mitigatórias (Eash *et al.*, 2008). Estudos recentes destacam que a inclusão do saber local é fundamental para o desenho de políticas agrícolas eficazes (Mercer *et al.*, 2020), reforçando a importância desta pesquisa para a região.

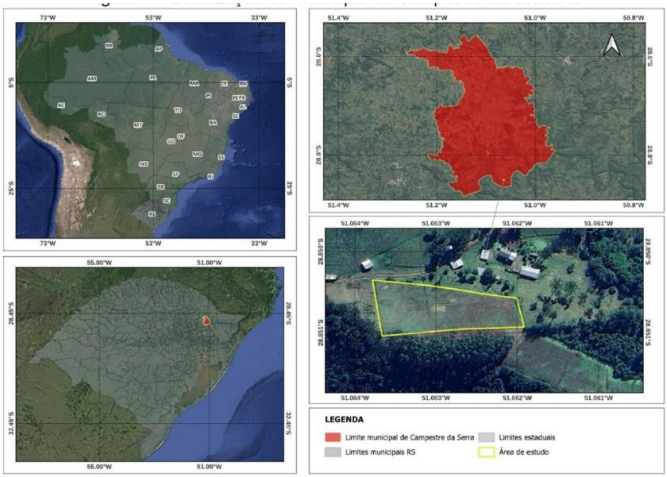
Metodologia

Este capítulo tem como objetivo apresentar a caracterização do local de estudo, bem como descrever de forma detalhada a metodologia adotada para a elaboração, aplicação e análise dos questionários utilizados na pesquisa.

O Município de Campestre da Serra-RS

O município de Campestre da Serra localiza-se na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a cerca de 190 km da capital Porto Alegre. Fazendo divisa com os municípios de São Marcos, Caxias do Sul, Vacaria, Monte Alegre dos Campos, Ipê, Antônio Prado e Muitos Capões, conforme Figura 1.

Figura 1 – Localização do Loca de Estudo



Situado a uma altitude de 770 metros, Campestre da Serra possui uma área territorial de 538,487 km² e uma densidade demográfica de 6,02 habitantes por quilômetro quadrado, totalizando uma população de 3.242 habitantes (IBGE, 2022). A economia local é majoritariamente agrícola, com a agropecuária representando 59,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do município. Em seguida, destacam-se os setores de serviços (17,2%), administração pública (14,1%) e indústria (9,2%). O PIB per capita alcança o valor de R$ 60,2 mil.

A área de estudo está situada na Comunidade Nossa Senhora das Graças e abrange uma propriedade rural de 1,1 hectare, onde há três décadas se cultiva uva em sistema de parreiral. O clima subtropical úmido característico da região exerce influência significativa na dinâmica dos nutrientes no solo. A elevada frequência de chuvas, especialmente em períodos de precipitação intensa como os registrados em outubro, contribui para o aumento da lixiviação de nutrientes. Com uma precipitação média anual de 1.749,2 mm, há um expressivo transporte de nutrientes para os corpos hídricos próximos, o que pode comprometer tanto a fertilidade do solo quanto o equilíbrio ambiental da área.

Questionários

A aplicação de questionários foi conduzida com o objetivo de coletar informações diretamente junto aos agricultores de Campestre da Serra, possibilitando uma compreensão aprofundada das práticas agrícolas adotadas, das percepções sobre a fertilidade do solo, do grau

de conhecimento sobre sustentabilidade agrícola e dos principais desafios enfrentados na adoção de práticas que minimizam a lixiviação de nutrientes. Segundo Gil (2008), o uso de questionários é uma técnica eficaz de investigação que permite obter dados padronizados a partir de um número significativo de respondentes, sendo especialmente útil em estudos que buscam compreender comportamentos, opiniões e práticas de grupos específicos.

Essa etapa de coleta de dados constitui um componente essencial da pesquisa, pois permite uma análise minuciosa das técnicas e métodos empregados na produção agrícola local (Eash *et al.*, 2008). A economia do município de Campestre da Serra é fortemente baseada na agricultura familiar, com destaque para a produção de grãos, como milho e feijão, além da fruticultura e da pecuária leiteira em menor escala. Os agricultores da região, em sua maioria pequenos produtores, desempenham um papel fundamental na manutenção da economia local, contribuindo não apenas para o abastecimento regional, mas também para a preservação das práticas tradicionais e dos recursos naturais.

A agricultura praticada na zona rural do município apresenta uma diversidade de manejos, que vão desde o uso intensivo de fertilizantes químicos até a adoção de sistemas de cultivo rotativo e técnicas de conservação do solo. A aplicação de fertilizantes é amplamente difundida entre os produtores; no entanto, quando mal administrada, pode intensificar a lixiviação de nutrientes, comprometendo a qualidade do solo e da água. De acordo com Kirkham (2005), a análise das práticas agrícolas locais é essencial para identificar os métodos que mais contribuem para a perda de nutrientes e aqueles que promovem maior eficiência na sua conservação, orientando assim ações corretivas sustentáveis.

O questionário elaborado (Figura 2) foi estruturado para abordar temas relevantes aos proprietários das áreas de estudo, sendo dividido em três grandes blocos:

- Práticas de manejo agrícola: Coleta de informações sobre o uso de fertilizantes, tipos de cultivos predominantes, técnicas de irrigação, práticas de conservação do solo e existência de sistemas de rotação de culturas.
- Percepção sobre a fertilidade do solo: Investigação da percepção dos agricultores quanto à fertilidade de seus solos, alterações observadas ao longo do tempo e os possíveis impactos atribuídos à

lixiviação de nutrientes. Esta seção busca valorizar o conhecimento empírico e a experiência prática dos produtores rurais.

- Medidas de mitigação: Levantamento das ações já implementadas com o objetivo de reduzir a lixiviação de nutrientes e da receptividade dos agricultores em adotar práticas mais sustentáveis recomendadas por estudos científicos e técnicos.

Análise dos resultados

Este artigo constitui um recorte de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (UCS). Em razão da limitação de espaço para publicação, não foi possível apresentar todos os gráficos gerados na pesquisa. Dessa forma, optou-se pelo agrupamento das respostas para facilitar a análise e síntese dos dados.

Os dados obtidos por meio dos questionários foram organizados em uma matriz de dados categóricos e quantificados em termos relativos, utilizando a técnica de distribuição de frequências relativas, expressas em percentuais. Esse procedimento, conforme Gil (2008), permite transformar respostas qualitativas em variáveis quantitativas, facilitando a identificação de padrões entre os diferentes grupos de respondentes. A conversão em porcentagens é especialmente útil em pesquisas com amostras pequenas, comuns em comunidades rurais, por permitir comparações proporcionais independentes do tamanho amostral (Creswell, 2021).

A análise preliminar teve como foco identificar correlações entre práticas agrícolas e impactos percebidos na fertilidade do solo, com ênfase na lixiviação de nutrientes. Utilizou-se uma abordagem descritiva, com apoio de tabelas de contingência e gráficos de barras, os quais evidenciam a distribuição percentual das respostas (Fávero *et al.*, 2009). Nem todos os gráficos gerados puderam ser incluídos neste artigo, em razão da limitação de espaço.

Além disso, o uso de questionários contribuiu para a inserção ativa da comunidade no processo de pesquisa, promovendo um ambiente participativo e dialógico. Esse envolvimento fortalece a legitimidade dos resultados e colabora para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais adequadas às percepções e realidades locais (I*nternational Accountability Project*, 2020).

Figura 2 – Perguntas que compuseram o questionário

1. Idade:
2. Escolaridade:

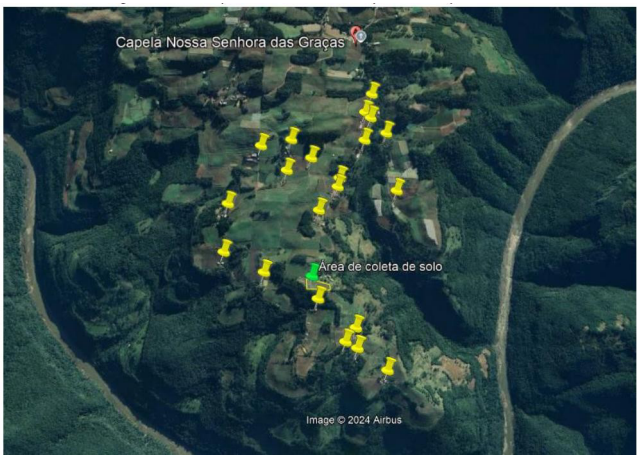
3. Tempo de atuação na agricultura:
4. Quais culturas você cultiva em sua propriedade
5. Com que frequência você utiliza fertilizantes químicos?
6. Quais os tipos de fertilizantes químicos que você utiliza?
7. Você utiliza algum tipo de fertilizante orgânico?
   Se sim, quais tipos de fertilizante orgânico você utiliza?
8. Você conhece práticas agrícolas sustentáveis?
9. Se sim, quais utiliza?
   ( ) Rotação de culturas
   ( ) Plantio direto
   ( ) Adubação verde( ) Cobertura do solo
   ( ) Outros: _____
10. Você está ciente dos impactos ambientais causados pela perda de nutrientes do solo?
11. Quais impactos ambientais você já observou em sua propriedade devido à perda de nutrientes do solo?
12. Quais ações você acredita serem eficazes para reduzir à perda de nutrientes do solo?
    ( ) Uso de fertilizantes orgânicos ( ) Adubação controlada
    ( ) Plantio de culturas de cobertura
    ( ) Outros: _____
13. Você realiza algum tipo de análise de solo regularmente?
14. Que tipo de treinamento ou capacitação você recebeu em relação a práticas agrícolas sustentáveis?
15. Quais medidas você já implementou em sua propriedade para minimizar à perda de nutrientes do solo?
    ( ) Barreiras egetativas ( ) Controle da irrigação
    ( ) Uso de fertilizantes de liberação controlada ( ) Outros: ____
16. Quais desafios você encontra na implementação de práticas agrícolas sustentáveis?
    ( ) Custo elevado
    ( ) Falta de conhecimento ( ) Falta de apoio técnico
    ( ) Outros: _____
17. Você acredita que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis pode melhorar a fertilidade do solo a longo prazo?
18. Quais mudanças você gostaria de ver nas políticas públicas para apoiar a agricultura sustentável?
    ( ) Subsídios para fertilizantes orgânicos
    ( ) Programas de educação e capacitação ( ) Incentivos fiscais
    ( ) Novas Leis
    ( ) Outros: _____
19. Você estaria disposto a participar de programas de monitoramento ambiental e análise de solos?

Resultados e Discussões

O questionário foi aplicado em uma área de 4,8 km2, com 21 agricultores residentes na Comunidade Nossa Senhora Das Graças em Campestre da Serra, que residem nas proximidades do local onde está sendo realizado este estudo, conforme Figura 3.

Já o Quadro 1, apresenta um resumo das respostas e a relevância entre os respondestes de acordo com a idade, escolaridade e tempo de atuação na agricultura.

Figura 3 – Propriedades onde os questionários foram aplicados



Fonte: adaptado do Google Earth (2024)

Quadro 1 – Quadro resumo e relevância das respostas

	Com que frequência é feito o uso de fertilizantes químicos?	Utiliza algum tipo de fertilizante orgânico?	Conhece práticas agrícolas sustentáveis?	Está ciente dos impactos ambientais causados pela perda de nutrientes do solo?	Realiza algum tipo de análise de solo regularmente?	Acredita que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis pode melhorar a fertilidade do solo?	Estaria disposto a participar de programas de monitoramento ambiental a análises de solo?
Idade							
- 30 anos		X			X	X	X
+ 30 anos	X	X	X	X		X	X
Escolaridade							
Fundamental						X	X
Médio	X	X		X		X	X
Superior	X	X	X	X	X	X	X
Tempo de atuação na agricultura							
- 10 anos					X	X	X
+ 10 anos	X	X	X	X		X	X

O questionário aplicado aos agricultores da Comunidade Nossa Senhora das Graças em Campestre da Serra, RS, revelou insights importantes sobre as práticas agrícolas, o uso de fertilizantes, o conhecimento sobre sustentabilidade e os desafios enfrentados na adoção de práticas mais sustentáveis. Esses resultados destacam a necessidade de políticas públicas e iniciativas que apoiem a transição para uma agricultura mais sustentável, considerando as particularidades locais e as condições socioeconômicas dos agricultores.

a. Perfil dos Agricultores e Práticas Agrícolas

A maioria dos agricultores entrevistados é jovem (57% entre 18 e 31 anos), o que sugere uma renovação geracional na agricultura, com potencial para a adoção de novas tecnologias e práticas sustentáveis (Monteiro *et al.*, 2024). No entanto, a falta de conhecimento e o alto custo associado à implementação de práticas sustentáveis foram identificados como os principais desafios (Sousa *et al.*, 2021). A experiência

acumulada pelos agricultores com mais de 10 anos de atuação também influencia positivamente o manejo da terra e a adaptação às mudanças climáticas (Delgado e Bergamasco, 2017).

b. Uso de Fertilizantes e Impactos Ambientais

O uso de fertilizantes químicos, especialmente o NPK, é predominante entre os agricultores, com 52% utilizando-os sempre e 48% regularmente. No entanto, 76% dos agricultores também utilizam fertilizantes orgânicos, como esterco de animais e adubos verdes, indicando uma tendência crescente para práticas mais sustentáveis (Sousa *et al.*, 2021). A lixiviação de nutrientes, que leva à perda de fertilidade do solo e à contaminação da água, foi reconhecida como um problema significativo por 86% dos entrevistados, reforçando a necessidade de práticas que minimizem esses impactos (Mendes *et al.*, 2010).

c. Conhecimento sobre Práticas Sustentáveis

A maioria dos agricultores (81%) afirma conhecer práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, adubação verde e plantio direto. No entanto, a falta de conhecimento técnico e a ausência de apoio técnico foram apontadas como barreiras para a implementação dessas práticas (Sousa *et al.*, 2021). A realização de análises de solo regularmente, feita por 71% dos agricultores, é uma prática essencial para o manejo eficiente dos nutrientes e a manutenção da fertilidade do solo (Raij, 2011).

d. Desafios e Necessidades de Políticas Públicas

Os principais desafios identificados foram a falta de conhecimento (49%), o alto custo (32%) e a falta de apoio técnico (19%). Para superar esses obstáculos, os agricultores sugeriram a implementação de políticas públicas que incluam incentivos fiscais, subsídios para fertilizantes orgânicos, programas de educação e capacitação, e novas legislações que promovam a agricultura sustentável (Carvalho *et al.*, 2021). A disposição de todos os entrevistados em participar de programas de monitoramento ambiental e análise de solos indica uma abertura para práticas mais sustentáveis e uma maior conscientização sobre a importância da preservação ambiental (Altieri, 2004).

e. Correlações Sociodemográficas

Agricultores com mais de 30 anos e mais de 10 anos de experiência tendem a utilizar mais fertilizantes e têm maior consciência dos impactos ambientais. Além disso, aqueles com ensino médio ou superior possuem um conhecimento mais abrangente sobre práticas sustentáveis e realizam análises de solo com maior frequência, demonstrando uma preocupação em adaptar suas práticas de cultivo às condições locais (Raij, 2011).

Os resultados do questionário destacam a importância de políticas públicas e iniciativas que promovam a educação, a capacitação e o apoio técnico para os agricultores, além de incentivos financeiros que facilitem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis. A transição para uma agricultura mais sustentável não só beneficiará a produtividade e a fertilidade do solo, mas também contribuirá para a preservação ambiental e a qualidade de vida das futuras gerações (Altieri, 2004; Carvalho *et al.*, 2021). A participação ativa dos agricultores em programas de monitoramento e análise de solos é um passo fundamental para garantir a sustentabilidade a longo prazo, tanto no âmbito agrícola quanto ambiental.

Conclusão

A pesquisa realizada junto aos agricultores da Comunidade Nossa Senhora das Graças, em Campestre da Serra, revelou que, embora haja uma crescente conscientização sobre os impactos da lixiviação de nutrientes e a importância da fertilidade do solo, ainda existem desafios significativos para a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis. Entre os principais obstáculos identificados estão a falta de conhecimento técnico, o alto custo das soluções sustentáveis e a ausência de apoio governamental e técnico.

Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de políticas públicas que incentivem a transição para uma agricultura mais sustentável, por meio de subsídios para fertilizantes orgânicos, programas de capacitação e assistência técnica contínua. Além disso, práticas como o uso de adubos orgânicos, sistemas de plantio direto, rotação de culturas e monitoramento regular da fertilidade do solo devem ser amplamente incentivadas, pois demonstraram ser eficazes na redução da lixiviação de nutrientes e na manutenção da produtividade agrícola.

A participação ativa dos agricultores em programas de monitoramento e análise de solos é um passo essencial para garantir a sustentabilidade a longo prazo. O fortalecimento do conhecimento técnico e a adoção de práticas agrícolas eficientes podem contribuir significativamente para a preservação dos recursos naturais e a viabilidade econômica das propriedades rurais. Assim, o equilíbrio entre produção agrícola e conservação ambiental se torna viável, promovendo benefícios tanto para os produtores quanto para o meio ambiente.

Referências

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. Disponível em: https://biowit.files.wordpress.com/2010/11/agroecologia-a-dinc3a2mica-produtiva-da-agricultura-sustentc3a1vel.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024.

BENDER, S. F. *et al.* **Precision agriculture for nutrient management. Computers and Electronics in Agriculture,** [S.l.], v. 192, p. 106610, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106610. Acesso em: 10 abr. 2025.

CARVALHO, F. P. *et al.* **Políticas públicas para a agricultura sustentável: desafios e oportunidades.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 16, n. 2, p. 45–58, 2021. Disponível em: https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/12345. Acesso em: 01 fev. 2025.

CRESWELL, John W. *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DELGADO, G. C.; BERGAMASCO, S. M. P. P. **Agricultura familiar e políticas públicas: uma análise crítica.** São Paulo: Editora Expressão Popular, 2017.

EASH, N. S. *et al.* **Soil science simplified**. 5th ed. Long Grove: Waveland Press, 2008. Disponível em: https://www.waveland.com/browse.php?t=13. Acesso em: 14 dez. 2024.

GIL, A. C**. Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Ediitora Atlas SA, 2008.

IBGE. **Portal Cidades: Campestre da Serra**, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/campestre-da-serra/panorama. Acesso em: 14 jun. 2024.

INTERNATIONAL ACCOUNTABILITY PROJECT. **Guia para Mapear Direitos: construindo poder comunitário através da pesquisa participativa.** São Francisco: IAP, 2020. Disponível em: https://accountabilityproject.org/wp-content/uploads/2020/10/IAP-Guia-para-Mapear-Direitos_2020_PT.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and plant water relations**. 2nd ed. Amsterdã: Academic Press, 2005. Disponívelem:

https://themodern.farm/studies/Principles%20of%20Soil%20and%20Plant%20Water%20Relations%20-%20M.B.%20Kirkham.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024

MENDES, F. R. *et al.* **Uso de fertilizantes e impactos ambientais: uma revisão.** Revista Brasileira de CiênciadoSolo,v.34,n.2,p.345-356,2010.Disponívelem: https://

www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875492/1/Impactos-ambientais- causados-pelo-uso-de-fertilizantes-agricolas..pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

MONTEIRO, J. E. B. A. *et al.* **Sucessão geracional na agricultura: desafios e perspectivas**. Revista de Economia Agrícola, v. 71, n. 1, p. 12-25, 2024.

PRETTY, J. **Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence.** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2007. Disponível em: https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2007.2163. Acesso em: 14 dez. 2024.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

SOUSA, R. F. *et al.* **Práticas agrícolas sustentáveis: impactos e benefícios**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 11, n. 3, p. 78–92, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/1234. Acesso em: 11 abr. 2025

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002. Disponível em: https://www1.udel.edu/soilchem/esc2ed.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

VIANA, R. T. *et al.* **Pagamentos por Serviços Ambientais na agricultura familiar**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, Garanhuns, v. 15, n. 2, p. 205–217, 2021. Disponível em:

https://www.rbga.ufrpe.br/index.php/rbga/article/view/1234. Acesso em: 11 abr. 2025.

ULRICH, A. *et al.* **Economic losses from nutrient leaching in smallholder systems**. Agricultural Systems, [S.l.], v. 190, p. 1–10, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103117. Acesso em: 11 abr. 2025.

WHITE, R. E. **Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource**. 4th ed. Malden: Blackwell Publishing, 2006. Disponível em: https://www.ebooks.com/en-us/book/428044/principles- and-practice-of-soil-science/robert-e-white/. Acesso em: 07 set. 2024.

WORLD BANK. **Barriers to adoption of sustainable practices** in Global South agriculture. Washington, DC: World Bank, 2023. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12345. Acesso em: 10 abr. 2025.

Utilização da revisão sistemática para a análise de alternativas para uma destinação adequada ao resíduo de cabo de fibra de vidro em uma indústria metalúrgica

Renata Cornelli[1], Letícia Victoria Silva Freire[2]
[1]*Universidade de Caxias do Sul – UCS (lvsfreire@ucs.br)*
[2]*Universidade de Caxias do Sul – UCS (rcornell@ucs.br)*

Resumo: Este estudo aborda a problemática do resíduo de fibra de vidro, um subproduto da industrialização que representa um desafio ambiental significativo. A expansão industrial intensificou a geração de resíduos sólidos, tornando essencial a busca por alternativas sustentáveis. Em especial, a indústria metalúrgica enfrenta dificuldades na gestão desse material, exigindo soluções inovadoras para sua destinação. A pesquisa realizou uma revisão sistemática sobre alternativas para o aproveitamento do resíduo de fibra de vidro, destacando sua aplicação em setores como construção civil e energia eólica. A análise da geração desse resíduo demonstrou uma redução significativa ao longo do tempo, evidenciando o impacto positivo das medidas adotadas pela empresa estudada. Além disso, estudos analisados indicam a viabilidade técnica, econômica e ambiental de diferentes soluções, como sua incorporação em concretos sustentáveis e a termólise para obtenção de material vitrocerâmico. Os resultados demonstram que tais abordagens não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também promovem a sustentabilidade industrial. As considerações finais ressaltam a importância da conscientização e da implementação de estratégias sustentáveis em larga escala. Recomenda-se a colaboração entre setores e o incentivo à inovação para otimizar a gestão de resíduos. Este estudo evidencia que a destinação adequada do resíduo de fibra de vidro não apenas minimiza impactos ambientais, mas também representa uma oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, contribuindo para um futuro mais equilibrado e ambientalmente responsável.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Gestão de resíduos sólidos. Fibra de vidro. Tratamento. Destinação.

Use of systematic review for the analysis of alternatives for the proper disposal of fiberglass cable waste in a metallurgical industry

Abstract: This study addresses the issue of fiberglass waste, a byproduct of industrialization that presents a significant environmental challenge. Industrial expansion has intensified solid waste generation, making the search for sustainable alternatives essential. In particular, the metallurgical industry faces

difficulties in managing this material, requiring innovative disposal solutions. The research conducted a systematic review of alternatives for the reuse of fiberglass waste, highlighting its application in sectors such as civil construction and wind energy. The analysis of waste generation showed a significant reduction over time, demonstrating the positive impact of measures adopted by the studied company. Furthermore, the analyzed studies indicate the technical, economic, and environmental feasibility of different solutions, such as its incorporation into sustainable concrete and thermolysis for obtaining glass-ceramic material. The results show that these approaches not only reduce environmental impact but also promote industrial sustainability. The final considerations emphasize the importance of awareness and the implementation of large-scale sustainable strategies. Collaboration between sectors and the encouragement of innovation are recommended to optimize waste management. This study highlights that the proper disposal of fiberglass waste not only minimizes environmental impacts but also represents an opportunity for the development of sustainable technologies, contributing to a more balanced and environmentally responsible future.

Key words: Solid waste, Solid waste management, Fiberglass, Treatment, Disposal.

Introdução

A industrialização promoveu avanços tecnológicos e melhorias na qualidade de vida, mas também intensificou a exploração desordenada dos recursos naturais, resultando em impactos ambientais significativos (NASCIMENTO, 2008; CARVALHO, 2013). O aumento da produção industrial gerou uma demanda crescente por matéria-prima e energia, elevando a geração de resíduos sólidos, especialmente na indústria metalúrgica. Como consequência, tornou-se essencial adotar práticas sustentáveis para minimizar os danos ambientais e buscar alternativas para o gerenciamento adequado desses resíduos.

A geração de resíduos sólidos industriais é uma preocupação global, pois sua quantidade cresce constantemente com a expansão das indústrias (SZIGETHY; ANTENOR, 2020). Embora o processo de industrialização tenha trazido benefícios, como maior produtividade e avanços tecnológicos (SANTOS, 2009), também acarretou desafios ambientais, incluindo a disposição inadequada de resíduos. Estudos indicam que aproximadamente 50% dos aterros sanitários são compostos por resíduos industriais e comerciais (ARAÚJO, 2004), evidenciando a necessidade de estratégias eficazes para seu tratamento e destinação final.

Muitas empresas ainda não possuem um gerenciamento eficiente de resíduos, comprometendo a reutilização, reciclagem e recuperação

energética (MORAES, 2015). Além disso, a disposição inadequada pode gerar impactos negativos, como contaminação do solo e da água, além de altos custos operacionais (ROSA, 2011). No setor metalúrgico, a grande diversidade e volume de resíduos tornam essencial a busca por soluções alternativas, visando reduzir impactos ambientais e otimizar processos produtivos.

Dentre esses resíduos, o Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) apresenta desafios específicos devido à sua não degradabilidade natural, resultando em impactos ambientais significativos (ORTH *et al.*, 2012). Estima-se que a indústria de compósitos no Brasil gere cerca de 13 mil toneladas de resíduos por ano, sendo a maior parte destinada a aterros industriais (SILVA, 2003; ORTH, 2012). Diante desse cenário, este estudo propõe, por meio de uma revisão sistemática, analisar alternativas viáveis técnica, econômica e ambientalmente para a destinação adequada do resíduo de cabo de fibra de vidro em uma indústria metalúrgica da Serra Gaúcha.

Metodologia

Neste capítulo são apresentadas as etapas que foram percorridas para atingir os objetivos deste estudo de caso. Além disso, são apresentados a delimitação do estudo, a localização do empreendimento de análise, e os instrumentos que foram utilizados para a coleta dos dados.

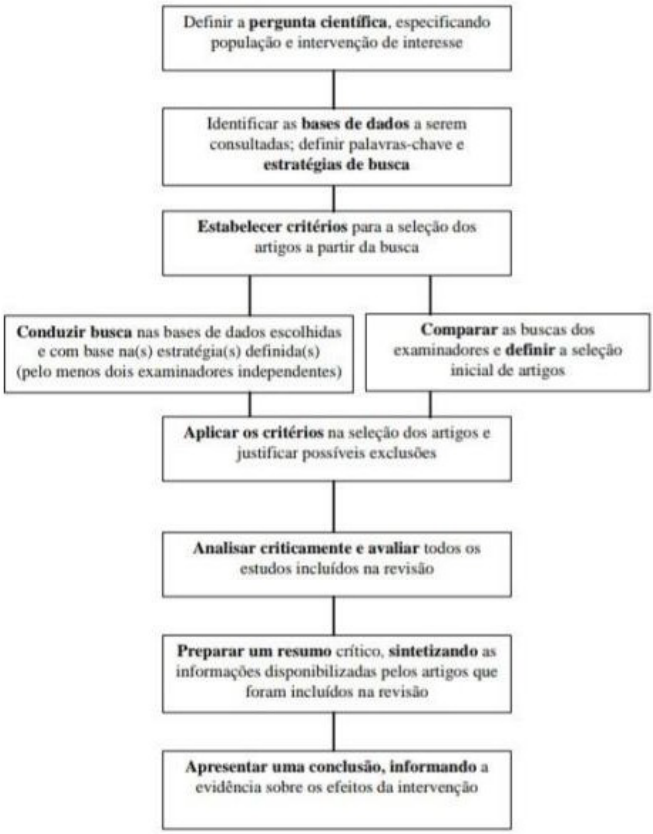
Revisão Sistemática da Literatura

Uma revisão sistemática da literatura é um método meticuloso e estruturado empregado para a identificação, avaliação e interpretação abrangente de todas as pesquisas existentes pertinentes a uma questão de pesquisa específica, a uma área temática delimitada ou a um fenômeno de interesse particular. Cada estudo individual que se contribui para a composição de uma revisão sistemática é denominado estudo primário, e a própria revisão sistemática se classifica como um estudo secundário. Esse tipo de pesquisa secundária é realizado de acordo com um protocolo predefinido, seguindo diretrizes metodológicas rigorosas e, frequentemente, emprega métodos estatísticos avançados para a análise e síntese das informações coletadas. O objetivo primordial de uma revisão sistemática é proporcionar uma visão abrangente, imparcial e confiável do panorama atual de conhecimento em relação ao tópico

de estudo, o que é fundamental para embasar decisões informadas na pesquisa e na prática (KITCHENHAM, 2004).

Segundo Sampaio e Mancini (2006) uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. Na Figura 1 é apresentado a descrição geral sobre o processo de revisão sistemática da literatura de acordo com Sampaio RF e Mancini MC (2006).

Figura 1 – Processo de Revisão Sistemática



Fonte: Sampaio e Mancini (2007)

Foi acordado um período de 10 anos que diz a respeito deste assunto do ano de 2013 a 2023. Pelo fato de haver poucos artigos científicos que abordam sobre resíduo de fibra de vidro, sendo assim necessário realizar a revisão bibliográfica de artigos mais antigos, como comentado anteriormente um período de 10 anos. Ocorreu a filtragem do tipo de arquivo (Artigo de revisão e Artigo de pesquisa). Para ser possível analisar a qualidade metodológica dos estudos.

Avaliação da Viabilidade Técnica, Econômica e ambiental

A análise estratégica por meio da matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*) foi empregada como uma ferramenta abrangente para avaliar a viabilidade técnica, ambiental e econômica da destinação do resíduo de fibra de vidro. Essa metodologia permite uma avaliação holística, identificando as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas ao tratamento, reutilização e possíveis estratégias de comercialização desse resíduo específico (GÜREL; TAT, 2017).

A análise SWOT desempenha um papel crucial no desenvolvimento de soluções sustentáveis para a gestão desse resíduo, pois permite compreender tanto os desafios enfrentados, como os altos custos de disposição e os impactos ambientais do descarte inadequado, quanto as oportunidades associadas, como a valorização de resíduos e o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis (HUMPHREY, 2005). Além disso, possibilita avaliar a viabilidade técnica dos processos disponíveis, considerando a eficácia e segurança no tratamento e na disposição final (GÖÇER *et al.*, 2020).

Outro aspecto fundamental dessa abordagem é a identificação de usos e aplicações potenciais para o resíduo de fibra de vidro, como sua incorporação em novos produtos, participação em processos de reciclagem e incentivo à reutilização. Ao explorar essas alternativas, não apenas se reduz o impacto ambiental, mas também se criam oportunidades inovadoras para agregar valor ao resíduo, transformando-o em um recurso útil para diversos setores industriais (DYSON, 2004).

Além do impacto ambiental positivo, a análise SWOT permite detectar benefícios econômicos, como a redução de custos com matéria-prima, economia de energia, comercialização do resíduo para terceiros e melhoria da imagem corporativa. Dessa forma, essa ferramenta estratégica auxilia na formulação de ações eficazes para otimizar a gestão

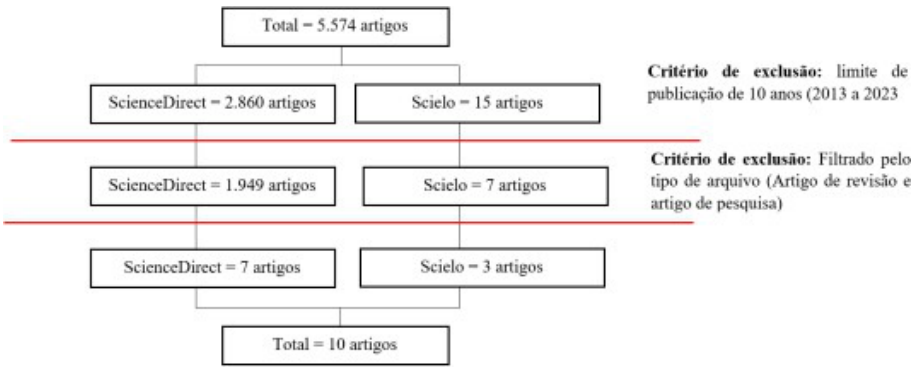
de resíduos, promovendo a sustentabilidade industrial e impulsionando soluções inovadoras para o setor.

Resultados e Discussões

Revisão Sistemática

Foram identificados 5.574 artigos, dos quais 10 estudos atendiam a todos os critérios de inclusão estabelecidos (7 da Science Direct, 3 da Scielo). O primeiro critério de exclusão foi pelo período limite de publicação de 10 anos (entre os anos de 2013 a 2023). O segundo critério foi pelo tipo de arquivo (artigo de revisão e o tipo de arquivo). O terceiro critério foi pela leitura do título e do resumo, excluindo os artigos que não tratavam sobre o tratamento ou resíduo da fibra de vidro, restando os 10 utilizados, na Figura 2 é apresentado o processo de seleção dos artigos.

Figura 2 – Aplicação da Revisão Sistemática



Foram identificados 10 artigos pertinentes e que são apresentadas as in formações no Quadro 1.

Quadro1 – Resumo dos Artigos

Ano	Autores	Título
2013	Lopez *et al.*	Termólise de compósito de poliéster de fibra de vidro e reaproveitamento do resíduo de fibra de vidro para obtenção de um material vitrocerâmico
2013	Bouvier *et al.*	Gerenciando resíduos compostos de poliéster reforçado com fibra de vidro
2015	Zang *et al.*	Revestimento super hidrofóbico em tecido de fibra de vidro para remoção seletiva de óleo da água

2019	Rahimizadeh *et al.*	Reciclagem de pás de turbinas eólicas de fibra de vidro em filamentos reforçados para uso em Manufatura Aditiva
2021	Ribeiro *et al.*	Efeito do resíduo de fibra de vidro e adição de cinza volante no desempenho mecânico da pasta de cimento Portland
2022	Furian *et al.*	Análise do comportamento mecânico de concreto com agregado reciclado e adição de fibras de aço e de vidro AR
2022	Hermansson *et al.*	Os compósitos de fibra de carbono podem ter um impacto ambiental menor do que a fibra de vidro?
2023	Knorst *et al.*	Incorporação de PRFV em pavimentos intertravados: uma solução ecológica para resíduos industriais
2023	Liu *et al.*	Criação de cerâmica macia oca de fibra de vidro de sílica para isolamento térmico
2023	Ardebili *et al.*	Caracterização mecânica de argamassas de gesso com resíduos do setor automotivo.

A destinação inadequada dos resíduos de fibra de vidro (PRFV) representa um desafio ambiental significativo, dada sua baixa biodegradabilidade e a dificuldade de reciclagem convencional (PAPAPETROU *et al.*, 2018). O descarte em aterros não apenas consome espaço, mas também pode gerar impactos ambientais a longo prazo, tornando essencial a busca por soluções mais sustentáveis. Os estudos apresentados o quadro indicam diversas estratégias de reaproveitamento desse material, alinhadas com os princípios da economia circular (GEYER; KUCZAK, 2016).

Viabilidade

A gestão do resíduo de fibra de vidro, especialmente proveniente de cabos e outros componentes industriais, é um desafio crescente, dada sua baixa biodegradabilidade e impacto ambiental significativo (Geyer & Kuczak, 2016). Esta análise abrange tanto a geração específica desse resíduo quanto os resultados de uma revisão sistemática mais ampla sobre resíduos de fibra de vidro, permitindo uma visão estratégica para soluções sustentáveis.

- A. Geração e Ciclo de Vida do Resíduo de Fibra de Vidro: A produção do resíduo de fibra de vidro ocorre ao longo de diversas etapas do ciclo de vida do material, incluindo fabricação, uso e

descarte (Job *et al.*, 2021). Identificar pontos críticos nesse processo é essencial para minimizar impactos e maximizar a reutilização do material.

- B. Reciclagem e Reutilização como Alternativa Sustentável: A revisão sistemática destacou diferentes abordagens para a reciclagem e reutilização da fibra de vidro:
- C. Incorporação em Concretos Sustentáveis: A adição de resíduos de fibra de vidro melhora propriedades mecânicas do concreto, reduzindo a demanda por matérias-primas virgens e aumentando a durabilidade do material (Pacheco-Torgal *et al.*, 2012).
- D. Reciclagem de Pás de Turbinas Eólicas: A reciclagem mecânica e a manufatura aditiva (impressão 3D) são soluções viáveis para o reaproveitamento de pás de turbinas descartadas, transformando-as em filamentos reforçados para novos produtos (Rahimizadeh *et al.*, 2019).
- E. Argamassas de Gesso com Resíduos Automotivos: A incorporação de resíduos mistos, incluindo fibras de vidro da indústria automotiva, melhora a sustentabilidade e a resistência de argamassas de gesso (Ardebili *et al.*, 2023).
- F. Impactos Ambientais de Compósitos: Comparando fibras de carbono e de vidro, estudos indicam que a segunda tem menor impacto ambiental e maior viabilidade para reciclagem e reutilização em novas aplicações (Hermansson *et al.*, 2022).
- G. Termólise de Compósitos de Fibra de Vidro Poliéster: O processo térmico permite a recuperação de materiais cerâmicos a partir da fibra de vidro, promovendo um reaproveitamento eficiente e de alto valor agregado (Lopez *et al.*, 2013).

Estratégia de Gestão Baseada na Análise SWOT

A síntese dos estudos resultou na elaboração de uma matriz SWOT para a gestão do resíduo de cabo de fibra de vidro, destacando:

- **Forças:** Potencial de reciclagem, alta resistência mecânica, versatilidade de aplicações.
- **Fraquezas:** Dificuldade de separação e processamento, custos elevados de reciclagem.

- **Oportunidades:** Expansão da economia circular, inovação em materiais sustentáveis.
- **Ameaças:** Regulações ambientais mais rígidas, custos logísticos elevados.

A abordagem estratégica baseada nesses fatores pode orientar políticas públicas e investimentos para promover a sustentabilidade na gestão dos resíduos de fibra de vidro. A contínua pesquisa e desenvolvimento de novas aplicações são fundamentais para tornar a indústria mais sustentável e alinhada aos princípios da economia circular (Smith *et al.*, 2021).

Conclusão

Este estudo reforça a importância da gestão sustentável do resíduo de cabo de fibra de vidro, destacando seu potencial como recurso valioso para diversas aplicações industriais. A revisão sistemática evidenciou alternativas viáveis, enquanto a análise da geração do resíduo demonstrou o impacto positivo das estratégias adotadas pela empresa na redução do desperdício.

Os resultados indicam que a implementação de práticas inovadoras e sustentáveis, como reciclagem, reutilização e termólise, pode trazer benefícios ambientais e econômicos. Além disso, a colaboração com instituições de pesquisa e órgãos reguladores é essencial para impulsionar soluções eficazes e ampliar o impacto positivo.

No cenário atual, onde a sustentabilidade é uma prioridade global, a empresa tem a oportunidade de se posicionar como referência na gestão responsável de resíduos, promovendo inovação e contribuindo para um futuro mais sustentável.

Referências

ARAÚJO, R. L. Gestão e destinação de resíduos industriais. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 45-56, 2004.

CARVALHO, L. G. A. Impactos ambientais na indústria metalúrgica. *Journal of Environmental Studies*, v. 17, n. 3, p. 120-132, 2013.

DYSON, R. E. Waste management strategies for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 587-599, 2004.

FURIAN, R. *et al.* Análise do comportamento mecânico de concreto com agregado reciclado e adição de fibras de aço e de vidro AR. *Revista de Engenharia e Materiais*, v. 22, n. 1, p. 24-32, 2022.

GEYER, R.; KUCZAK, R. Waste management in the context of the circular economy. *Waste Management*, v. 56, p. 1-11, 2016.

GÖÇER, A. *et al.* Recycling and reuse of fiberglass composites: Sustainability considerations. *Composites Science and Technology*, v. 199, p. 175-186, 2020.

GÜREL, E.; TAT, M. Application of SWOT analysis in sustainable waste management. *Sustainable Development Journal*, v. 25, n. 2, p. 50-58, 2017.

HERMANSSON, L. *et al.* Comparison of the environmental impacts of carbon and fiberglass composites. *Environmental Science & Technology*, v. 56, n. 4, p. 1292-1301, 2022.

HUMPHREY, A. SWOT analysis for sustainability in industrial waste management. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 26, p. 485-495, 2005.

KITCHENHAM, B. A. Procedures for conducting systematic reviews. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 30, n. 12, p. 1163-1177, 2004.

LOPEZ, J. *et al.* Thermolysis of polyester-based fiberglass composites for vitreous material recovery. *Journal of Material Science*, v. 48, p. 1617-1632, 2013.

MORAES, F. A. A. Gestão de resíduos industriais: práticas e desafios. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 203-212, 2015.

ORTH, C. *et al.* Recycling of fiberglass reinforced composites: Strategies and challenges. *Journal of Composites Science*, v. 8, n. 2, p. 99-108, 2012.

PACHECO-TORGAL, F. *et al.* Incorporation of industrial waste in cement-based materials: A sustainable solution. *Construction and Building Materials*, v. 30, p. 22-34, 2012.

PAPAPETROU, M. *et al.* Disposal and recycling of fiberglass composites: Environmental concerns and solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 73, p. 96-103, 2018.

RAHIMIZADEH, M. *et al.* Recycling of fiberglass wind turbine blades: A step towards sustainability. *Renewable Energy Journal*, v. 125, p. 420-432, 2019.

ROSA, A. M. Impactos ambientais dos resíduos industriais e soluções viáveis. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 45-56, 2011.

SANTOS, A. C. Desenvolvimento sustentável na indústria: Desafios e soluções. *Revista de Administração Industrial*, v. 19, p. 99-113, 2009.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Métodos para revisão sistemática da literatura: Aplicações e implicações. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação*, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2006.

SZIGETHY, D.; ANTENOR, F. Waste management and sustainability in the industrial sector.

International Journal of Environmental Science and Technology, v. 17, p. 234-245, 2020.

Desenvolvimento e aplicação de estratégias para mobilização socioparticipativa durante planejamento municipal

Luiza Grazziotin[1], Bianca Breda[2], Juliano Rodrigues Gimenez[3], Tiago Panizzon[4]
[1,2,3,4] *Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul [1]lgrazziotin@ucs.br, [2]bbreda@ucs.br, [3]jrgimene@ucs.br, [4]tpanizzo@ucs.br*

Resumo: O estudo apresenta estratégias para a mobilização socioparticipativa no Plano São Chico 2050, um projeto de desenvolvimento sustentável para São Francisco de Paula, RS. O Plano visa tornar a cidade mais sustentável, resiliente e inovadora nos próximos 30 anos. Para garantir a efetividade das diretrizes ambientais e urbanísticas, o engajamento da comunidade é essencial. Foram adotadas metodologias como reuniões técnicas, audiências públicas e aplicação de questionários para coletar percepções da população. Embora as atividades ainda estejam em andamento, espera-se que os resultados fortaleçam o engajamento comunitário, contribuindo para um planejamento urbano mais inclusivo e sustentável. A continuidade dessas estratégias será essencial para garantir a efetividade do Plano e poderá servir como modelo para outras cidades que buscam um desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo.

Palavras-chave: Participação social. Desenvolvimento sustentável. Engajamento comunitário. Planejamento integrado.

Development and application of strategies for social participatory mobilization during municipal planning

Abstract: This paper presents strategies for social participatory mobilization in the Plano São Chico 2050, a sustainable development project for São Francisco de Paula, RS. The plan aims to make the city more sustainable, resilient, and innovative over the next 30 years. To ensure the effectiveness of environmental and urban guidelines, community engagement is essential. Methodologies such as technical meetings, public hearings, and questionnaires were adopted to gather population insights. Although the activities are still ongoing, the results are expected to strengthen community engagement, contributing to a more inclusive and sustainable urban planning. The continuity of these strategies will be essential to guarantee the effectiveness of the Plan and could serve as a model for other cities seeking sustainable and inclusive urban development.

Keywords: Social participation. Sustainable development. Community engagement. Integrated planning.

Introdução

Um dos desafios significativos que a sociedade enfrenta atualmente reside em questões ambientais, como a poluição, o desmatamento, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas. Nas últimas décadas, essas questões se intensificaram, impulsionadas pelo avanço da modernidade e mudanças no mercado, no que se chama de separação sociedade-natureza (LIMA *et al.*, 2015).

Vilalba (2022) enfatiza o crescimento acelerado dos municípios, sendo essa uma tendência global. Além disso, a autora destaca que cidades com grande potencial de desenvolvimento enfrentam ainda o desafio de fazê-lo de forma sustentável. Ainda, Vilalba sugere que o planejamento municipal deve ter foco no desenvolvimento de políticas públicas de forma integrada, com uma gestão e tomada de decisão frente às fragilidades já existentes.

Acerca do desenvolvimento de planos integrados, Lages (2017) destaca seis eixos norteadores: otimizar a utilização dos recursos públicos no desenvolvimento econômico local; garantir aos moradores a justa repartição nos processos de urbanização; desenvolver políticas promotoras de acesso ao mercado de trabalho; assegurar a proteção do meio ambiente e do patrimônio cultural; desenvolver o território do município; e estruturar uma administração de planejamento permanente que atenda às peculiaridades locais.

De acordo com Gonzales (2017), para que exista a mobilização de uma população em torno de alguma causa, é necessário que essas pessoas possuam informação, partilhando também suas visões e emoções dentro da realidade em que vivem. A autora ressalta que, com isso, é possível a geração de reflexões mais assertivas e debates com potencial para mudanças significativas.

Voltada para questões de meio ambiente, Guimarães (2004) afirma que a educação ambiental deve ser uma atividade crítica, de forma que uma ação educativa possa ser capaz de contribuir com a transformação de uma realidade. Gonzales (2017) complementa afirmando que, para uma educação ambiental eficaz, são necessárias ferramentas e técnicas mobilizadoras que possam apresentar e esclarecer os propósitos do processo educativo. Ainda, a autora destaca que o processo deve ser prolongado e replicado, favorecendo dessa forma a consolidação das ideias e das interações.

Cerqueira (2015) define o diagnóstico participativo como um método utilizado para fazer um levantamento da realidade local, que deve conter os principais problemas e potencialidades de uma localidade. O autor ainda ressalta que esse processo auxilia a própria comunidade a compreender sua situação, além de servir como base para a gestão e o planejamento integrado.

Uma questão apontada por Suzina e Pichelli (2022) é que a ciência possui uma linguagem muito técnica, que por diversas vezes, só é compreendida por membros da comunidade científica que já são familiarizados com essa linguagem. As autoras ainda ressaltam que a adequação do discurso científico para termos mais acessíveis ainda é um desafio atual para profissionais da comunicação.

Outro aspecto relevante é a qualidade das participações sociais, como relatado por Souza e Novicki (2011). Os autores destacam a importância da representatividade na coleta de informações, que deve envolver um público de graus e níveis de participação sociopolíticas diferentes. Ainda, salientam a importância dessa temática, associando-a com o ato da cidadania e, consequentemente, com o exercício da democracia local.

Visando estabelecer um plano de ação para o desenvolvimento sustentável, o Município de São Francisco de Paula lançou o Plano São Chico 2050. O referido Plano é um instrumento de apoio à gestão para São Francisco de Paula, que visa tornar a cidade uma opção de moradia com alta qualidade devida, segura, sustentável, resiliente e alinhada com o desenvolvimento econômico nos próximos 30 anos. Tal projeto exige adesão social e articulação interinstitucional para garantir sua legitimidade e efetividade. Muitos desses planos, no entanto, enfrentam dificuldades na mobilização de atores sociais estratégicos, resultando em desafios na implementação e fiscalização das diretrizes ambientais e urbanísticas.

Esse estudo tem como objetivo estruturar e organizar ações para ampliar o envolvimento social na construção de planos municipais, com foco na sensibilização da população e capacitação de atores locais para conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Além disso, busca-se monitorar e analisar a efetividade das estratégias participativas implementadas em diferentes contextos territoriais dentro de um município.

Metodologia

O município utilizado nesse estudo é São Francisco de Paula, localizado na Região das Hortênsias, na Serra Gaúcha. Seu território abrange uma área de 3.317,79 km² e, de acordo com o Censo Demográfico de 2022, a população do município é de 21.893 habitantes. É formado pelo Distrito Sede (zona urbana), as Sedes Distritais Tainhas, Lajeado Grande, Cazuza Ferreira, Eletra e Rincão Kroeff, bem como os Núcleos Urbanos do Apanhador e de Recosta, com 71,71% da população residindo em áreas urbanas.

Para que a elaboração do Plano seja assertiva, é fundamental a participação da comunidade local, principalmente na fase de diagnóstico do município. Para isso, foi necessário o desenvolvimento de métodos para engajar a comunidade, com a utilização de diversos canais para alcançar diferentes grupos da população.

Conforme orientações do Termo de Referência da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (BRASIL, 2018), a metodologia adotada para elaboração da Estratégia de Mobilização, Participação Social e Comunicação do Plano São Chico 2050 considerou atividades que fossem:

1. Participativas, em relação às lideranças comunitárias e agentes sociais com representação nas instâncias colegiadas existentes e, fomentadora do exercício e controle social e da participação social e da participação popular durante todo processo;
2. Promotoras da integração com as demais políticas públicas, desde o diagnóstico até a proposição dos programas, projetos e ações do Plano;
3. Interativas, no que toca ao envolvimento e a capacitação do corpo técnico-político do município responsável pela gestão dos serviços públicos de saneamento básico e das políticas públicas correlatas, incluindo conselheiros municipais dessas políticas.

Além das orientações da FUNASA, as atividades planejadas foram adaptadas à realidade local, considerando as experiências prévias adquiridas pela equipe técnica durante trabalhos com outros municípios, como recentemente realizado pela equipe do Instituto de Saneamento Ambiental em diversos municípios integrantes do

Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Sustentável da Serra Gaúcha (CISGA).

Resultados e Discussão

A principal estratégia para cativar o processo participativo é a realização de eventos colaborativos, como reuniões técnicas, nas quais são realizados encontros com especialistas para discutir aspectos do plano. Esses encontros são realizados com o Comitê Gestor do município, formado por uma equipe de coordenação dos trabalhos, uma equipe de consultoria técnica e uma comissão de avaliação final, compostas por servidores do município.

Além das reuniões técnicas, destaca-se a realização de reuniões temáticas, com foco em temas específicos do desenvolvimento urbano. Nesses eventos, o principal objetivo é mobilizar os Grupos Focais de forma individualizada, com o intuito de avaliar as suas reais necessidades. A definição desses Grupos foi realizada visando atingir os diferentes bairros e atores sociais tanto da zona urbana, quanto rural do município. Dessa forma, os principais atores componentes do processo foram divididos em três setores: as instituições educacionais, tendo como atores principais os diretores, professores e alunos; a zona rural, representada pelos cidadãos do meio rural; e a zona urbana, englobando os habitantes da área urbana do município.

A fim de obter colaboração com a população, destaca-se a realização de entrevistas com a comunidade, que irão compor o estudo sobre a história, memória coletiva e patrimônio imaterial do município. Além disso, adotou-se a estratégia de realizar rodas de conversa com os gestores municipais sobre turismo, história e comunicação, buscando gerar ideias, explorar cenários futuros e desenvolver conceitos inovadores para a cidade. Ainda na câmara de vereadores, serão realizadas oficinas de capacitação para os gestores públicos e para a comunidade em geral sobre a importância do turismo e formas de impulsioná-lo, bem como uma conscientização sobre a importância da drenagem urbana, contando ainda com um debate sobre mudanças climáticas e planejamento territorial.

Outra estratégia adotada foi a ampla divulgação e facilidade no acesso à informação, buscando a sensibilização inicial sobre a relevância do plano. Para isso, foram elaborados folders, cartazes e convites para a convocação de autoridades nas reuniões, além da divulgação em

páginas eletrônicas e redes sociais para informes das etapas do Plano São Chico 2025. Além disso, visando a educação ambiental, desenvolveu-se uma parceria com a Secretaria de Educação do município, na qual os alunos das escolas municipais são incentivados a participarem de um projeto pedagógico, com foco na educação sobre sustentabilidade e planejamento integrado, relacionando com o plano em questão. Ressalta-se que os eventos de mobilização são organizados em conformidade com a prefeitura de São Francisco de Paula, com o objetivo de obter o apoio da instituição, além de aproveitar possíveis eventos já organizados com a comunidade.

Nos eventos de mobilização, além de uma apresentação geral do plano, é realizado um momento colaborativo, no qual os participantes são instigados a darem sua opinião sobre aspectos gerais do município. O principal instrumento utilizado para isso é a aplicação de um questionário para os participantes, e o incentivo para que esse questionário seja amplamente divulgado para toda a população. No Quadro 1, exibido a seguir, está apresentado um resumo dos principais assuntos nele abordados. Além do questionário, os moradores são convidados a colaborarem de forma livre com outras contribuições que achem pertinentes, por meio do preenchimento físico ou online de uma ficha, endereçada às equipes técnicas de desenvolvimento do Plano São Chico 2050.

Quadro 1 – Resumo do questionário

Sessão	Assunto
Desenvolvimento econômico e turismo	Disponibilidade de oportunidades de emprego e cursos
	Existência de informações claras sobre investimento do dinheiro público
	Atrativos culturais e turísticos presentes no município
Mobilidade urbana	Frequência e tipos de meio de transporte utilizados
	Facilidade de deslocamento dentro da área urbana e entre os distritos
	Necessidade de transporte público municipal
Organização da cidade	Disponibilidade e acessibilidade de moradia
	Segurança nos bairros e distritos
	Qualidade dos serviços de saúde e educação nos bairros
	Qualidade das infraestruturas de esporte e lazer
	Possibilidades de desenvolvimento e expansão

Saneamento básico	Condições do abastecimento de água
	Existência de alagamentos
	Qualidade da coleta pública de lixo
Meio ambiente	Percepção sobre mudanças climáticas
	Necessidade de revitalização de rios e arroios

Fonte: autores (2025).

Considerando que o cronograma de atividades possui 18 meses, durando até maio de 2026, alguns resultados prévios são apresentados na sequência. O processo de mobilização socioparticipativa em São Francisco de Paula teve início com a apresentação do pré-diagnóstico do município ao seu comitê gestor, bem como o plano de mobilização social a ser aplicado. Com as devidas aprovações, a divulgação do plano teve início, com posts em sites e divulgação interna. A primeira oficina de capacitação foi realizada no mês de janeiro de 2025, com foco em uma apresentação geral do Plano São Chico 2050 aplicada aos servidores públicos, conselhos municipais e vereadores. Na sequência, ocorreram reuniões setoriais com profissionais da área da educação e da saúde, com o objetivo de apresentar o plano e treiná-los quanto à aplicação do questionário nas escolas e nas visitas médicas à comunidade.

As atividades de mobilização ainda estão em andamento, o que impede a análise de um resultado final efetivo. Até o presente momento, 375 moradores responderam ao questionário, enquanto 8 quiseram colaborar com mais informações pela ficha de contribuição. As próximas atividades de mobilização e coleta de dados serão focadas nos bairros e distritos do município. Destaca-se que o município possui grande extensão territorial, contendo rotas para o litoral gaúcho e divisa com a zona turística de Canela. Como a população dos distritos é bastante dispersa e predominantemente rural, serão realizadas ações de mobilização diretamente nas comunidades, objetivando a maior abrangência de público possível e alta representatividade nas coletas de informações e depoimentos prestados.

Posterior à prática de todos eventos, será possível realizar o levantamento de dados sobre o nível de envolvimento social da comunidade nas políticas ambientais e urbanas do município, além de possibilitar a análise da efetividade das estratégias participativas implementadas. Dessa forma, espera-se que o processo de mobilização socioparticipativa fortaleça o engajamento da comunidade, contribua para a construção

de um planejamento urbano mais inclusivo e sustentável e amplie a consciência coletiva sobre o futuro do município.

Conclusão

A mobilização socioparticipativa é um elemento essencial para o sucesso de iniciativas de planejamento municipal sustentável. O estudo sobre o Plano São Chico 2050 demonstra a importância da participação ativa da comunidade na construção de diretrizes urbanas e ambientais. As estratégias adotadas, como reuniões temáticas, oficinas, entrevistas e a ampla divulgação do plano, possuem características benéficas à sensibilização e engajamento de diferentes setores da sociedade.

Embora as ações ainda estejam em desenvolvimento, os dados preliminares indicam um crescente envolvimento da população no processo de tomada de decisão, o que fortalece a governança participativa e contribui para um planejamento mais inclusivo e democrático. A continuidade dessas ações e a adaptação das estratégias conforme a resposta da comunidade serão fundamentais para garantir a efetividade do plano a longo prazo. Dessa forma, espera-se que a experiência de São Francisco de Paula possa servir como referência para outros municípios que buscam implementar projetos semelhantes, promovendo um desenvolvimento urbano mais sustentável, resiliente e integrado às necessidades da população.

Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Termo de Referência para elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico.** Brasília, DF: FUNASA, 1ª ed. p.187. 2018.

ANDRADE,M.A.,etal.**Comunicaçãoambiental:estratégiasde mobilização socioparticipativa para educação, informação e integração da rede socioambiental APA SUL RMBH.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 22, p. 167-184. Editora UFPR. Curitiba, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305864292_Comunicacao_ambiental_estrategias_de_mobilizacao_socioparticipativa_para_educacao_informacao_e_integracao_da_rede_socioambiental_APA_SUL_RMBH. Acesso em: 07 fev. 2025.

BAEDER, Angela Martins. **Educação Ambiental e Mobilização Social: Formação de Catadores na Grande São Paulo.** Universidade de São Paulo – Faculdade de Educação. São Paulo, 2009. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-15122009-093815/pt-br.php. Acesso em: 11 fev. 2025.

CERQUEIRA, Luciano. **Guia do Diagnóstico Participativo.** 2 ed. FLACSO. Brasil, 2015. Disponível em: https://biblioteca.flacso.org.br/?publication=guia-do-diagnostico-participativo. Acesso em: 27 fev. 2025.

GONZALES, Natalia dos Santos. **Comunicação para mobilização social: o jovem como multiplicador de causas de organizações do terceiro setor.** Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" Faculdade De Arquitetura, Artes E Comunicação Programa De Pós-Graduação Em Comunicação. Bauru, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/entities/publication/02f0c523-38e2-4d07-9a6a-3b4bfb7a04dc. Acesso em: 21 fev. 2025.

LAGES, José Antônio Correa. **Plano Integrado de Desenvolvimento Municipal: Conceitos, Necessidade, Objetivos e Etapas de Construção.** MBA Administração Pública, Faculdade Unyleya.Brasília,2017.Disponívelem: https://www.professorlages.com.br/gestao-municipal-textos-academicos/. Acesso em: 22 fev. 2025.

LIMA, Myrian Del Vecchio de; JÚNIOR, Pedro da Silva; LOOSE, Eloísa Belling; MEI, Danielle Scheffelmeier; SCHNEIDER, Thaís Cristina; DUARTE, Valéria Sousa. A comunicação ambiental e suas potencialidades no enfrentamento dos dilemas socioambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, *[S. l.]*, v. 34, 2015. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/made/article/view/39965. Acesso em: 21 fev. 2025.

SUZINA, A.C.; PICHELLI, K.R. **A questão ambiental e o discurso informativo: formas de mobilização social** In: Seminário Celacom, São Bernardo do Campo, 2005. Disponível em: https://www.academia.edu/25026398/A_quest%C3%A3o_ambiental_e_o_discurso_informati vo_formas_de_mobiliza%C3%A7%C3%A3o_social. Acesso em: 27 fev. 2025.

SOUZA, D. B.; NOVICKI, V. **A particiação social na questão ambiental: limites e possibilidades nos Conselhos de Meio Ambiente no Brasil.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://revistas.cesgranrio.org.br/index.php/metaavaliacao/article/view/103/130. Acesso em: 10 fev. 2025.

VILALBA, Gisele da Silva Almeida. **Planejamento Integrado No Município De Rio Verde À Luz Do Índice De Mobilidade Urbana Sustentável (Imus).** Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Rio Verde – GO, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2765. Acesso em: 12 fev. 2025.

Análise da influência de cinza de casca de arroz e biochar nas propriedades do concreto permeável

Vinícius Carboni Fim[1], Vinício Cecconello[2]
[1] *Universidade de Caxias do Sul (vcfim@ucs.br)*
[2] *Universidade de Caxias do Sul (vcecconello@ucs.br)*

Resumo: O concreto permeável é uma das alternativas de enfrentamento das condições climáticas extremas e para a constituição das cidades esponjas. Este estudo investigou o impacto do biochar (BC) e da cinza de casca de arroz (CCA) como substituições parciais do cimento no concreto permeável, avaliando suas propriedades mecânicas, hidráulicas e químicas para aplicações em drenagem urbana. Foram analisadas misturas contendo 5,2% de substituição de cimento por BC e CCA, comparadas a um traço de referência (REF). Os resultados indicaram que a CCA melhorou a resistência mecânica, atingindo 6,05 MPa em compressão e 0,90 MPa em tração na flexão aos 35 dias, enquanto o BC aumentou a permeabilidade (1,08 cm/s). No entanto, ambas as adições influenciaram negativamente a qualidade da água filtrada, elevando os níveis de nitratos (0,98 mg/L para BC e 0,84 mg/L para CCA) e o pH na mistura com CCA (9,55). Esses efeitos sugerem a necessidade de ajustes na formulação para atender aos padrões de qualidade da água. Os achados confirmam o potencial do concreto permeável com BC e CCA como solução sustentável para drenagem urbana, promovendo o reaproveitamento de resíduos e a redução de impactos ambientais, embora estudos adicionais sejam recomendados para otimização de desempenho e mitigação de impactos químicos.

Palavras-chave: Congresso de Meio Ambiente. Concreto permeável. Biochar. Cinza de casca de arroz. Gestão de águas pluviais.

Analysis of the Influence of Rice Husk Ash and Biochar on the Properties of Pervious Concrete

Abstract: Permeable concrete is one of the alternatives for dealing with extreme weather conditions and creating sponge cities. This study investigated the impact of biochar (BC) and rice husk ash (RHA) as partial cement replacements in pervious concrete, evaluating their mechanical, hydraulic, and chemical properties for urban drainage applications. Mixtures containing 5.2% cement replacement with BC and RHA were analyzed and compared to a reference mix (REF). The results indicated that RHA improved mechanical strength, reaching 6.05 MPa in compressive strength and 0.90 MPa in flexural tensile strength at 35 days, while BC enhanced permeability (1.08 cm/s). However, both additions negatively affected the quality of the filtered water, increasing nitrate levels (0.98 mg/L for BC and 0.84 mg/L for RHA) and

raising the pH in the RHA mixture (9.55). These effects suggest the need for formulation adjustments to meet water quality standards. The findings confirm the potential of pervious concrete with BC and RHA as a sustainable solution for urban drainage, promoting waste reuse and reducing environmental impacts, although further studies are recommended to optimize performance and mitigate chemical effects.

Keywords: Congress on the Environment. Pervious Concrete. Biochar. Rice Husk Ash. Stormwater Management.

Introdução

A crescente urbanização e os impactos das mudanças climáticas intensificaram a necessidade de soluções inovadoras para a gestão de águas pluviais e a redução da pegada ambiental da construção civil. O concreto permeável tem se destacado como uma alternativa sustentável, permitindo a infiltração de água no solo e contribuindo para a recarga de aquíferos e a redução do escoamento superficial. Além disso, a incorporação de aditivos como biochar (BC) e cinza de casca de arroz (CCA) tem sido explorada para otimizar suas propriedades mecânicas e hidráulicas, promovendo uma abordagem sustentável no uso de materiais alternativos (BALBO, 2021; XIE *et al.*, 2021).

Eventos climáticos extremos, como as enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul, evidenciam a vulnerabilidade das cidades à falta de infraestrutura de drenagem eficiente e reforçam a necessidade de estratégias resilientes para o manejo das águas pluviais (ECOA Brasil, 2024). Nesse contexto, o concreto permeável surge como uma solução promissora, pois melhora a drenagem urbana e pode atuar na remoção de poluentes da água, tornando-se um elemento-chave para infraestrutura resiliente e sustentável.

Pesquisas recentes têm focado na melhoria das propriedades desse concreto por meio da adição de materiais alternativos. O biochar, um biocarvão produzido a partir da pirólise de biomassa, apresenta alta porosidade e capacidade de adsorção de contaminantes, podendo melhorar a qualidade da água drenada (XIE *et al.*, 2021; QIN *et al.*, 2021). Já a cinza de casca de arroz, rica em sílica, possui propriedades pozolânicas que podem melhorar a resistência mecânica do concreto e reduzir sua pegada de carbono (ISAIA *et al.*, 2017; LATIF AL MUFTI *et al.*, 2024). Contudo, desafios relacionados à dosagem ideal e ao impacto desses materiais nas características físicas do concreto ainda precisam ser mais explorados.

Diante desse cenário, este estudo busca avaliar a influência do biochar e da cinza de casca de arroz no desempenho do concreto permeável, considerando tanto suas propriedades mecânicas, como resistência à compressão e tração na flexão, quanto suas propriedades hidráulicas e químicas, como permeabilidade e interação com a qualidade da água. A pesquisa visa contribuir para o avanço de soluções sustentáveis na engenharia civil e para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes na gestão das águas pluviais em áreas urbanas.

Materiais e Métodos

Neste estudo, foi empregado o Cimento Portland CP IV-32 RS, conforme especificado pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Este cimento contém adição de pozolana em um teor que varia entre 15% e 50% em massa, escolhido devido à sua resistência a sulfatos e às características exigidas para o concreto permeável. As propriedades físicas e mecânicas do cimento utilizado são apresentadas na Tabela 5, incluindo finura, resistência à compressão, tempo de pega e outros parâmetros relevantes.

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1, fornecida pela Universidade de Caxias do Sul, caracterizada por uma granulometria de 2,4 mm a 12,5 mm, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022). A distribuição granulométrica foi analisada e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

O biochar (BC) foi incorporado na mistura de concreto permeável, substituindo 5,2% da massa de cimento. O material foi adquirido da empresa Leds Indoor e submetido a um processo de secagem em estufa antes da mistura, garantindo que a umidade natural não afetasse as propriedades do concreto. A cinza de casca de arroz (CCA), fornecida pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), foi incorporada na mistura na mesma proporção que o biochar, visando otimizar a permeabilidade e resistência do concreto, conforme evidenciado pelos estudos de Hesami *et al.* (2013).

Além disso, um aditivo superplastificante foi adicionado às misturas, conforme as diretrizes da NBR 11768 (ABNT, 2011), para melhorar a trabalhabilidade do concreto permeável, mantendo a relação água/cimento desejada.

Produção do Concreto Permeável

As misturas de concreto foram elaboradas com base nas proporções estabelecidas por Balbo e Batezini (2015), utilizando um teor de cimento de 374 kg/m³ e agregado graúdo de 1.660 kg/m³, resultando em uma relação água/cimento de 0,3 e uma proporção de cimento/agregado de 1:4,4.

As três misturas desenvolvidas foram: Mistura 1 (REF), que serve como traço referência sem adições; Mistura 2 (CCA), que substitui massa de cimento por 5,2% de cinza de casca de arroz; e Mistura 3 (BC), substituindo 5,2% da massa de cimento por biochar. As proporções exatas dos materiais utilizados nas misturas são apresentadas na Tabela 1.

- Mistura 1 (REF): Traço referência sem adições.
- Mistura 2 (CCA): Traço referência com 5,2% de cinza de casca de arroz.
- Mistura 3 (BC): Traço referência com 5,2% de biochar.

Tabela 1 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Material	Unid.	REF	CCA	BC
Cimento	Kg/m³	288,00	273,02	273,02
Agregado	Kg/m³	1277,00	1277,00	1277,00
A/C	-	0,32	0,32	0,32
Cinza de casca de arroz	%	-	5,20	-
Biochar	%	-	-	5,20
Aditivo	%	0,50	0,50	0,50

Fonte: o Autor (2024)

Métodos de Ensaio

Resistência à Compressão Axial

O ensaio de resistência à compressão foi conduzido segundo as normas da NBR 5739 (ABNT, 2018). Para isso, corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura foram moldados e curados em condições controladas por um período mínimo de 28 dias. Ensaios foram realizados em amostras com idades de 7, 28 e 35 dias.

Os corpos de prova foram posicionados centralmente entre placas em um equipamento de ensaio, onde uma carga gradual foi aplicada até a falha do material. A resistência à compressão foi determinada pela divisão da carga máxima pela área da seção transversal do corpo de prova, sendo fundamental para avaliar a capacidade do concreto em resistir a esforços compressivos.

Resistência à Tração na Flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão seguiram as diretrizes da NBR 12142 (ABNT, 2010). Foram moldados corpos de prova prismáticos, que foram curados por um período mínimo de 28 dias. Após esse período, os corpos de prova foram submetidos a um teste de flexão, onde uma carga foi aplicada em sua parte superior até a ocorrência de ruptura. A resistência à tração na flexão foi calculada a partir da carga máxima suportada e das dimensões do corpo de prova, sendo essencial para avaliar a resistência do concreto a tensões de flexão.

Permeabilidade

O ensaio para a determinação do coeficiente de permeabilidade (K) foi realizado conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015). Utilizou-se um cilindro de 30 cm de diâmetro e altura mínima de 20 cm, posicionado sobre a superfície do pavimento permeável, com as laterais vedadas para evitar vazamentos. O coeficiente de permeabilidade foi calculado com base na Lei de Darcy, assegurando que o material atenda aos requisitos de projeto e às normas vigentes relacionadas à permeabilidade e ao desempenho hidráulico do concreto permeável.

Para a adaptação dos ensaios às dimensões dos corpos de prova, utilizou-se um tubo de PVC/PBA com diâmetro de 75 mm, realizado com vedação para garantir a representatividade dos resultados. A quantidade de água utilizada foi ajustada proporcionalmente ao diâmetro do tubo, mantendo-se a fidelidade ao procedimento original. Os dados obtidos foram utilizados na equação (1) para calcular o coeficiente de permeabilidade, permitindo avaliar a eficiência do pavimento permeável na drenagem de águas pluviais.

Análise Química

A análise química das amostras de água filtrada foi realizada por meio de testes laboratoriais para determinar a qualidade da água e os im-

pactos das adições de cinza de casca de arroz (CCA) e biochar (BC) no concreto permeável. A água estudada foi filtrada pelos materiais durante o teste de permeabilidade, e as amostras coletadas foram submetidas a testes de pH e turbidez utilizando um pHmetro e um turbidímetro. A concentração de nitratos foi quantificada por métodos colorimétricos. Além disso, análises adicionais de amônio, fosfato e nitrito, garantindo uma avaliação abrangente da influência dos materiais na qualidade da água filtrada.

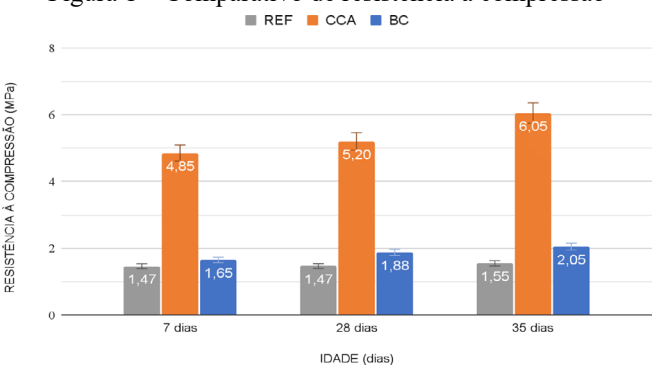
Resultados

Este capítulo apresenta e discute os resultados dos ensaios com diferentes formulações de concreto permeável, incluindo um traço de referência (REF) e misturas com cinza de casca de arroz (CCA) e biochar (BC). Avaliaram-se a resistência à compressão axial, a tração na flexão, o coeficiente de permeabilidade à água e a filtração de componentes químicos, visando compreender o impacto das misturas nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto.

Resistência à Compressão Axial

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das amostras de referência (REF), contendo adição de cinza de casca de arroz (CCA) e de biochar (BC), foram realizados conforme NBR 5739 (ABNT, 2018), e coletados em diferentes idades de cura (7, 28 e 35 dias). A Figura 1 mostra o comparativo de resistência à compressão entre os diferentes traços e idades dos corpos de prova moldados para a realização deste trabalho.

Figura 1 – Comparativo de resistência à compressão



Fonte: o Autor (2024)

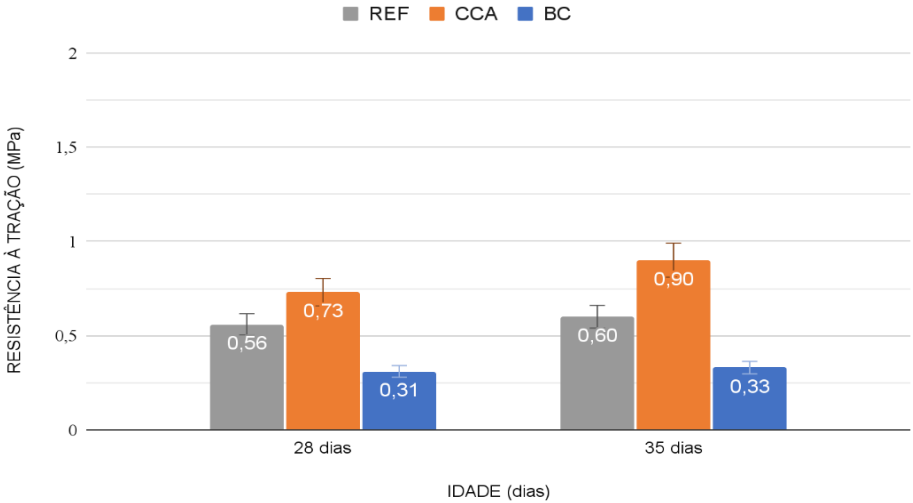
Analisando os resultados, observou-se uma certa estabilidade no ganho de resistência ao longo do tempo para as amostras de REF (1,47, 1,47 e 1,55 MPa) e BC (1,53, 1,88 e 2,00 MPa). Entretanto, nos CPs de CCA, é visto um ganho expressivo de resistência dos 7 aos 35 dias (4,85, 5,20 e 6,05 MPa, respectivamente). Assim, o biochar, sendo um material mais inerte, pode não ter promovido reações significativas de fortalecimento no cimento, enquanto o traço de referência, sem aditivos, apenas atingiu sua resistência máxima natural sem ganho adicional relevante após os primeiros dias de cura. Esses resultados destacam o efeito da adição de cinza de casca de arroz no aprimoramento das propriedades mecânicas ao longo da cura, indicando uma reação pozolânica contínua da cinza de casca de arroz.

Percebeu-se que as resistências observadas ficaram levemente abaixo das de pesquisas anteriores. As justificativas incluem diferenças nos tipos de cimento utilizados (CP III-32 RS e CP IV-32 RS), bem como a variação na granulometria dos agregados graúdos e o uso de superplastificante em quantidades superiores às referências citadas, que possivelmente causaram redução significativa na resistência dos corpos de prova. Batezini e Balbo (2015) obtiveram resistências de compressão em concreto permeável de referência que variaram de 2,8 a 28 MPa, dependendo do traço e das condições de cura. Em estudos de compósitos de concreto com biochar, Qin *et al.* (2021) e Xie *et al.* (2021), identificaram um ganho adicional de resistência, com valores de até 21,7 MPa para amostras com teores de biochar otimizados a 6,5%, o que evidenciou o potencial do biochar para melhorar as propriedades mecânicas do concreto permeável.

Resistência à Tração na Flexão

O ensaio de tração na flexão, realizado conforme a norma NBR 12142 (ABNT, 2010), avaliou corpos de prova prismáticos das séries REF, CCA e BC, com idades de 28 e 35 dias, submetidos a esforços de flexão aplicados em dois pontos simétricos até a ruptura, os resultados são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Comparativo de resistência à tração na flexão



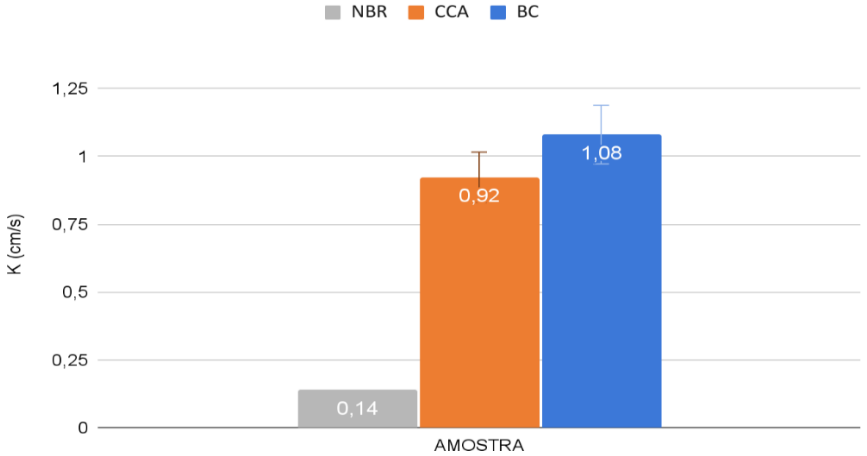
Fonte: o Autor (2024)

A partir da análise dos resultados obtidos, aos 28 dias, verificou-se resistência de 0,56 MPa para o traço de referência (REF), 0,73 MPa para o traço de contendo cinza de casca de arroz (CCA) e 0,31 MPa no traço com biochar (BC). Aos 35 dias, foi verificado ganho de resistência na amostra CCA (0,90 MPa) e estabilidade nas amostras REF (0,60 MPa) e BC (0,33 MPa). O ganho adicional de resistência na amostra CCA reforça o efeito contínuo das reações pozolânicas, enquanto os traços REF e BC estabilizaram. A estabilidade do REF reflete o limite natural do cimento sem aditivos, e o desempenho do BC indica que ele não proporciona reações químicas significativas, pelo biochar ser um material predominantemente orgânico e carbono, após o período inicial de cura. Assim, o uso de CCA é tecnicamente justificável para melhorar a resistência, enquanto o BC pode ter outras aplicações específicas.

Coeficiente de Permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade (K) das amostras CCA e BC foi de 0,92 cm/s e 1,08 cm/s, respectivamente. Ambos os traços apresentaram alta permeabilidade, conforme os padrões da NBR 16416 (ABNT, 2015), e os resultados são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Comparativo coeficiente de permeabilidade



Fonte: o Autor (2024)

O traço BC apresentou maior permeabilidade que o traço CCA, considerando que ambas as misturas apresentaram infiltração total, com permeabilidade muito alta, segundo os padrões estabelecidos em norma, ou seja, coeficiente K (m/s) maior que 10^{-3} m/s, conforme explícito na tabela 7 da NBR 16416 (ABNT, 2015).

Em comparativo com outros autores, conforme descrito por Batezini e Balbo (2015), onde foi observado que a condutividade hidráulica obtida pelo teste permeabilidade variou de 0,13 a 0,14 cm/s, estes resultados estão dentro da faixa dos valores obtidos pela maioria dos autores que estudaram esse parâmetro em misturas de concreto permeável, cujos valores publicados variam entre 0,01 e 1,5 cm/s. Portanto, as taxas de infiltração observadas neste estudo atendem plenamente, em qualquer momento das medições apresentadas, aos requisitos mínimos de 0,1 cm/s sugeridos pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

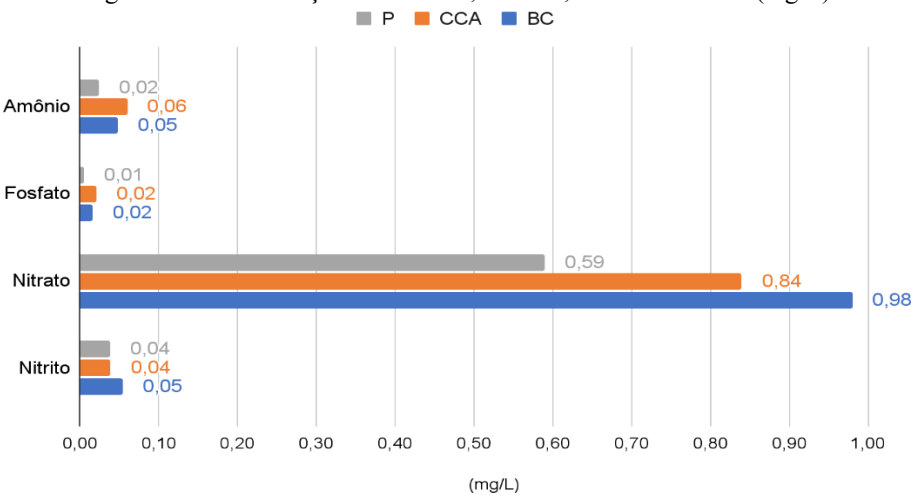
Análise Química

Os resultados de análise química foram obtidos a partir da coleta de amostra de água da chuva (P), em seguida, foi utilizada na realização dos ensaios de permeabilidade nos CPs de concreto permeável REF, CCA e BC. Foram submetidas a testes básicos de qualidade da água. Essas análises permitiram a determinação de parâmetros importantes, como a concentração de amônio (mg/L), fosfato (mg/L), nitrato (mg/L)

e nitrito (mg/L), com o objetivo de verificar a influência da passagem de águas residuárias pelo concreto permeável estudado.

O monitoramento da qualidade da água proporcionou dados para avaliar o desempenho do material em relação ao seu potencial para a gestão de águas pluviais em ambientes urbanos. Os resultados obtidos estão expostos na Figura 4.

Figura 4 – Concentração de Amônio, Fosfato, Nitrato e Nitrito (mg/L)

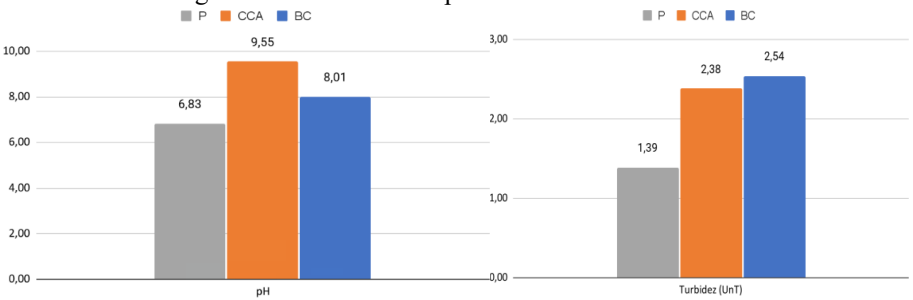


Fonte: o Autor (2024)

Observou-se um aumento nas concentrações de amônio, com valores passando de 0,02 mg/L na água de precipitada de referência (P) para 0,06 mg/L em CCA e 0,05 mg/L em BC, indicando uma liberação de compostos nitrogenados por esses materiais. O fosfato apresentou incremento de 0,01 mg/L (P) para 0,02 mg/L em ambas as amostras modificadas, sugerindo limitada adsorção ou potencial lixiviação. A concentração de nitrato foi maior em BC (0,98 mg/L), indicando que o biochar pode contribuir para a oxidação de nitrogênio disponível, seguida por CCA (0,84 mg/L), em comparação com P (0,59 mg/L), possivelmente devido à transformação química promovida pelos materiais. O nitrito permaneceu estável em CCA (0,04 mg/L), mas apresentou um leve aumento em BC (0,05 mg/L), o que pode estar relacionado a uma interferência no processo de nitrificação. Esses dados demonstram a influência das adições no comportamento químico do concreto permeável, com implicações potenciais para o tratamento de água e impactos ambientais.

Nas mesmas amostras de água também foram realizados os testes de pH e turbidez, apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Resultados de pH e Turbidez nas amostras



Fonte: o Autor (2024)

O pH aumentou drasticamente na amostra de água passante em CCA (9,55), ultrapassando o limite para águas potáveis (6 a 9,5), enquanto o BC apresentou um pH de 8,01, ainda dentro dos padrões. Esse aumento pode ser atribuído à liberação de compostos alcalinos pelas cinzas e pelo biochar.

Ambas as misturas elevaram o pH da água filtrada, com o traço contendo CCA ultrapassando o limite recomendado para potabilidade, atingindo um pH de 9,55, enquanto o BC apresentou um pH moderado de 8,01. Os estudos de Hesami, Ahmadi e Nematzadeh (2013) sobre o uso de CCA em concreto também indicam que, embora o material tenha atividade pozolânica, o comportamento da filtragem de poluentes depende da concentração de CCA e do pH do sistema. No caso, o aumento do pH (acima de 9) nas amostras infiltradas em CCA, como observado nos resultados, pode ter favorecido a liberação de compostos alcalinos, resultando no aumento da concentração de nitratos.

A turbidez foi mais alta na amostra BC (2,54 NTU), seguida por CCA (2,38 NTU), comparado com a referência (1,39 NTU). Possivelmente, o aumento dos valores de turbidez em relação à referência reflete a liberação de partículas finas pelos materiais do concreto poroso, pequenas variações podem ser atribuídas a interações com materiais, condições ambientais ou fontes pontuais de partículas em suspensão.

Conclusões

Este estudo demonstrou a eficácia da adição de materiais derivados de biomassa, como a cinza de casca de arroz (CCA) e o biochar (BC), na

melhoria das propriedades mecânicas e de permeabilidade do concreto permeável. Os resultados indicaram que a CCA não apenas aumentou a resistência à compressão, alcançando médias de 5,20 MPa e 6,05 MPa em 28 e 35 dias, respectivamente, mas também favoreceu a resistência à tração na flexão, destacando-se como um aditivo promissor para aplicações estruturais. Embora o BC tenha mostrado desempenho inferior em resistência, sua contribuição para a permeabilidade e seus benefícios ambientais são relevantes. Os ensaios de filtragem evidenciaram a capacidade de ambos os materiais em influenciar a qualidade da água, ressaltando a necessidade de ajustes nas formulações para otimizar a filtragem. Em síntese, a incorporação de resíduos de biomassa no concreto permeável não apenas promove a sustentabilidade na construção civil, mas também sugere direções promissoras para investigações futuras, incluindo a união da CCA e do BC em formulações de concreto permeável, bem como a otimização das combinações de materiais para maximizar a eficiência e a durabilidade do concreto em aplicações de drenagem urbana.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

BALBO, José Tadeu *et al.* Concreto colorido e permeável para ciclovias: estudo de dosagem laboratorial. Concreto & Construções, v. 49, n. ja/mar. 2022, p. 34-41, 2022 Tradução. Disponível em: https://doi.org/10.4322/1809-7197.2022.105.0002. Acesso em: 02 jun. 2024.

BATEZINI, R; BALBO, J. T. *Study on the hydraulic conductivity by constant and falling head methods for pervious concrete.* Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 8, n. 3, p. 248–259, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000300002. Acesso em: 02 jun. 2024.

HESAMI, S.; AHMADI, S.; NEMATZADEH, M. *Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. Construction and building materials*, v. 53, p. 680–691, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.070. Acesso em: 19 nov. 2024.

ISAIA, G. C. *et al.* Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade. Ambiente Construído, v. 17, n. 2, p. 233–252, abr. 2017.

QIN, Y. *et al. Evaluation of pervious concrete performance with pulverized biochar as cement replacement. Cement & concrete composites*, v. 119, n. 104022, p. 104022, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104022. Acesso em: 15 jun. 2024.

XIE, C. *et al. Experimental study on the water purification performance of biochar-modified pervious concrete. Construction and building materials*, v. 285, n. 122767, p. 122767, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821005274. Acesso em: 02 jun. 2024.

Estimativa de recarga líquida em aquífero fraturado utilizando o método de variação dos níveis de água

Taison Anderson Bortolin[1], Pedro Antonio Roehe Reginato[2], Tiago de Vargas[3], Vania Elisabete Schneider[4]
[1]Pós doutorando da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (tabortol@ucs.br)
[2] Instituto de Pesquisas Hidráulicas /Universidade Federal do Rio Grande do Sul (pedro.reginato@ufrgs.br)
[3] Instituto de Pesquisas Hidráulicas /Universidade Federal do Rio Grande do Sul (tiago.devargas@ufrgs.br)
[4] Instituto de Pesquisas sobre Desastres /Universidade Federal do Sergipe (veschnei@ucs.br)

Resumo: A compreensão da dinâmica de recarga de aquíferos é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, sobretudo em regiões onde estes são estratégicos. Este estudo avaliou os padrões temporais de recarga líquida do Sistema Aquífero Serra Geral na região de Caxias do Sul, investigando suas relações com variáveis hidrometeorológicas por meio do monitoramento dos níveis de água subterrânea e do uso do método de variação de níveis de água (VNA), aliado ao cálculo do balanço hídrico climatológico. Os resultados apontam uma sazonalidade bem definida, com os meses de maio e junho registrando os maiores valores de precipitação, excedente hídrico e recarga, apesar da eficiência de recarga ser relativamente baixa (3-5%). Em contraste, o período de novembro a março apresentou menor volume de recarga e maior déficit hídrico, requerendo atenção na gestão dos recursos. Portanto, os padrões identificados ressaltam a necessidade de estratégias de gestão hídrica que integrem a variabilidade climática ao longo do ano.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Serra Geral. Excedente Hídrico. Sazonalidade da recarga aquífera

Estimation of net recharge in fractured aquifer using the water level variation method

Abstract: Understanding the dynamics of aquifer recharge is fundamental for the sustainable management of groundwater resources, especially in regions where they are strategic. This study evaluated the temporal patterns of net recharge of the Serra Geral Aquifer System in the area of Caxias do Sul, investigating their relationships with hydrometeorological variables through the monitoring of groundwater levels and the use of the water level variation method (VNA), combined with the calculation of the climatological water balance. The results indicate a well-defined seasonality, with May and June recording the highest precipitation values, water surplus, and recharge,

although the recharge efficiency is relatively low (3-5%). In contrast, the period from November to March showed a lower recharge volume and higher water deficit, requiring attention to resource management. Therefore, the identified patterns highlight the need for water management strategies that integrate climatic variability throughout the year.

Key words: Serra Geral Aquifer System. Water Surplus. Seasonality of Aquifer Recharge.

Introdução

A compreensão da dinâmica de recarga de aquíferos é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente em regiões onde estes recursos são estratégicos para o abastecimento público e desenvolvimento socioeconômico. Em aquíferos fraturados, como os da Formação Serra Geral, a quantificação da recarga apresenta desafios particulares devido à complexidade dos mecanismos de fluxo em meios heterogêneos e anisotrópicos (Reginato e Strieder, 2004; Bortolin, 2014).

A região de Caxias do Sul, localizada no nordeste do Rio Grande do Sul, está situada sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), um importante reservatório de água subterrânea caracterizado por sua natureza fraturada. O clima subtropical úmido da região, com precipitações bem distribuídas ao longo do ano, mas com variações sazonais significativas, influencia diretamente os processos de recarga deste sistema aquífero.

Existem muitas técnicas utilizadas para avaliar recarga, cada qual com características e aplicações distintas. Conforme Scanlon et. al (2002), os fatores como escala de tempo e espaço, objetivos da estimativa, clima, geologia, geomorfologia e hidrologia devem ser avaliados na determinação da melhor técnica a ser empregada. Deve-se considerar também, a facilidade de aplicação do método, custo e disponibilidade de dados (Wahnfried e Hirata, 2005).

Healy e Cook (2002) comentam que a recarga pode ser considerada bruta quando se refere ao total de água que entra em um sistema aquífero, incluindo todas as fontes de entrada, como a infiltração da água da chuva e o fluxo de rios e córregos para o aquífero. É basicamente toda a água que potencialmente poderia recarregar o aquífero. Por outro lado, Nowreen *et al.* (2021) destaca que a quantidade real de água que contribui para o armazenamento de um aquífero depois de considerar todas as perdas, como a evaporação, a transpiração das plantas e o escoamento

superficial é definida como recarga líquida. A recarga líquida representa a água efetivamente disponível para uso a partir do aquífero.

A estimativa de recarga em aquíferos fraturados é um desafio metodológico devido à complexidade dos processos envolvidos e à variabilidade espacial e temporal dos fatores que a controlam. O método de variação de níveis de água (VNA) tem se mostrado uma ferramenta útil para estimar a recarga em aquíferos fraturados, especialmente quando combinado com análises do balanço hídrico.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os padrões temporais de recarga líquida do SASG na região de Caxias do Sul, analisando suas relações com as variáveis hidrometeorológicas e estabelecendo correlações entre precipitação, excedente hídrico e recarga efetiva.

Metodologia

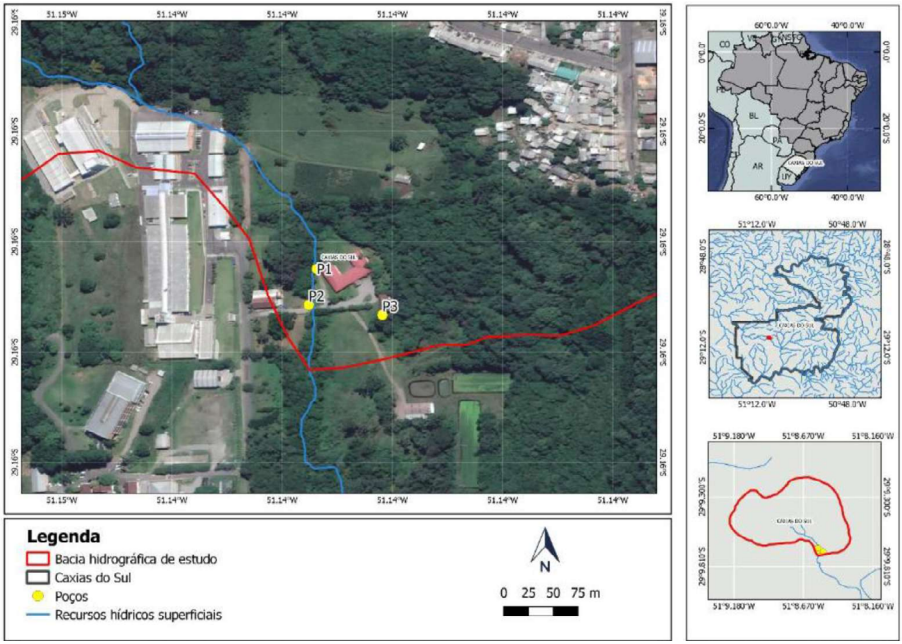
Área de estudo

A bacia estudada neste trabalho está localizada na Cidade Universitária da Universidade de Caxias do Sul (Figura 1). Com uma área aproximada de 1 km², a bacia possui 3 poços tubulares que eram utilizados para abastecimento, sendo que seu uso foi interrompido. Os poços captavam água do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e possuem as características apresentadas no Quadro 1. O aquífero fraturado do SASG está localizado nas rochas vulcânicas, condicionado principalmente pelas estruturas tectônicas e existência de fraturas abertas. Dependendo da orientação dessas estruturas, haverá ou não a possibilidade de ter a formação desse aquífero.

Quadro 1 – Características dos poços localizados na área de estudo

Poço	1	2	3
Tipo	Tubular	Tubular	Tubular
Cota	726 m	726 m	724 m
Coordenadas (Graus decimais)	29.161246 S 51,142686 W	29,161571 S 51,142758 W	29,161662 S 51,142090 W
Data da perfuração	27/06/2003	23/06/2003	29/11/1997
Diâmetro	150 mm	150 mm	150 mm
Revestimento	6"	6"	Geomecânico 6"
Profundidade	147 m	120 m	148 m
Altura da boca do poço	0,5 m	0,5 m	0,5 m
Profundidade das entradas d´água	69 e 105 m	37 e 81 m	78 m
Filtro e pré-filtro	Não há	Não há	Não há
Nível Estático	13,6 m	17,72 m	16,7 m
Profundidade da bomba	108 m	108 m	120 m
Selo sanitário	Existente	Existente	Existente
Tubo de inspeção	Existente	Existente	Existente

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: os autores

Obtenção de dados

O monitoramento dos níveis de água subterrânea foi realizado com o uso de medidores de nível automáticos modelos OnSet MX2001, instalados e calibrados nos poços, sendo os dados armazenados por dataloggers. A medição dos níveis foi programada para ocorrer em intervalos de 60 minutos. Neste trabalho optou-se por utilizar apenas os dados de monitoramento de níveis do poço 3, que possui uma série mais longa de dados, que abrange o período de 17/08/2020 a 29/03/2023.

Os dados de precipitação foram obtidos do site Agritempo para a estação meteorológica de Caxias do Sul localizada na coordenada -29.17 S -51.20 O na altitude de 753 metros, operada pelo INMET. Os dados de evapotranspiração potencial foram calculados com base nos dados da mesma estação meteorológica através da aplicação do método Hargreaves-Samani (1974) que possui desempenho ótimo para a região (Ongaratto, 2019) para o mesmo período da série histórica de níveis.

Estimativa de Recarga

A estimativa de recarga foi realizada com o método de Variação dos Níveis de Água (VNA) que matematicamente, pode ser expresso como:

Equação 1

$$R = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

onde *R* é a recarga de água subterrânea [LT^{-1}]; S y é o rendimento específico do aquífero [-]; Δ *h* é a mudança na elevação do nível freático atribuível à recarga [L]; e Δ *t* é o período de recarga [T], normalmente igual à duração da elevação do nível freático. O modelo conceitual de processos de armazenamento que se aplica à formulação acima é aquele em que Sy é independente do tempo e da profundidade (Healy e Scanlon, 2010).

A aplicação da Equação 1 para cada elevação individual dos níveis gera uma estimativa de

curva de ascensão e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente, extrapolada até o instante do pico. Quando não há a tentativa de projetar a curva de recessão para contabilizar a descarga líquida de águas subterrâneas, encontra-se a recarga líquida que pode ser definida como a quantidade de água que efetivamente permanece no aquífero após descontar as perdas por evapotranspiração e outras formas de saída, como a descarga para rios, lagos ou retirada por poços. (Healy, 2010; Bortolin, 2018).

O ΔH foi definido pelo método RISE (Delin *et al.*, 2007). Esta técnica requer um passo de tempo constante (Δt) e observações frequentes do lençol freático na aplicação da Equação 1. Não há nenhuma tentativa de projetar a curva de recessão para contabilizar a descarga líquida de águas subterrâneas; portanto, o método obtém a recarga líquida. Foi realizada uma suavização dos dados de nível usando uma média móvel simples de 5 dias (Melati *et al.* 2017; SRH-CE 2017; Yang *et al.* 2018; Rorig e Reginato, 2023). A aplicação deste filtro é importante para corrigir pequenas oscilações nas medições de nível, que podem ocorrer a partir de uma série de mecanismos além da recarga, como evapotranspiração, mudanças na pressão atmosférica, aprisionamento de ar, bombeamento próximo ao poço e outros (Healy e Cook, 2002). Para Sy

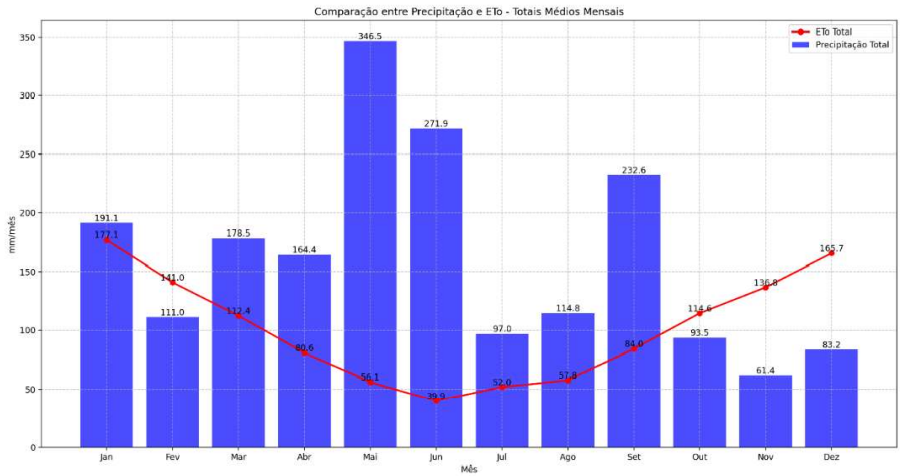
foram utilizados os dados disponibilizados para Souza (2022) e Healy (2010) para aquíferos fraturados, cujo valor é 0,02.

Para o cálculo do balanço hídrico climatológico (BHC), foi utilizado o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955, 1957) e simplificado por Pereira (2005), que fornece a quantidade de água armazenada no solo, evapotranspiração real (ETR), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) em nível local (Sentelhas *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2017).

Resultados

A análise dos dados hidrometeorológicos e da recarga do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Caxias do Sul revelou padrões significativos na dinâmica de recarga do aquífero. Os resultados apresentados a seguir destacam os principais aspectos do comportamento hidrogeológico do sistema, com foco na precipitação, excedente hídrico, recarga e padrões sazonais. A figura 2 compara a precipitação e a Evapotranspiração (ETo) total média mensal da série histórica.

Figura 2 – Precipitação e a ETo total média mensal



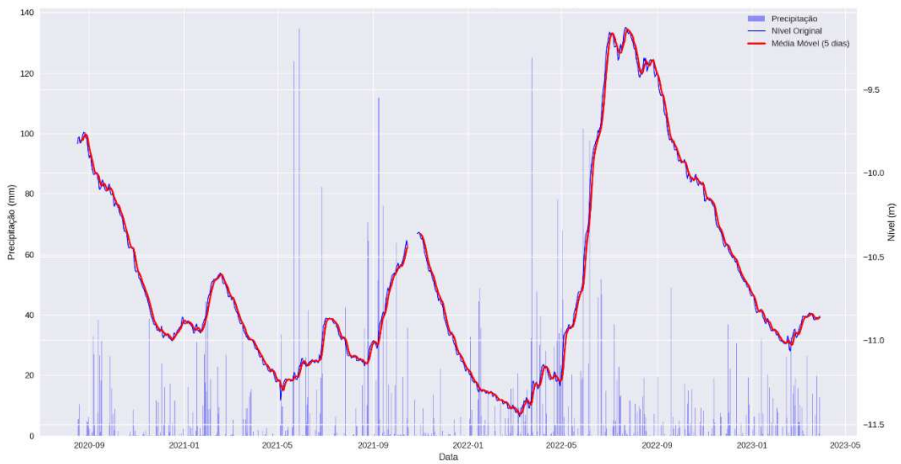
Fonte: os autores

Observa-se um padrão sazonal bem definido na região. O período de maio a setembro caracteriza-se por apresentar precipitações superiores à ETo, com destaque para maio (346,5 mm) e junho (271.9 mm), indicando um excedente hídrico importante nestes meses. Por outro lado, nos meses de outubro a março, a ETo se aproxima ou supera a pre-

cipitação, especialmente em novembro e dezembro, onde a precipitação é consideravelmente menor (61,4 mm e 83,2 mm, respectivamente) e a ETo é elevada (136,8 mm e 165,7 mm, respectivamente), caracterizando um período com maior probabilidade de déficit hídrico. Este comportamento sugere que o sistema presenta dois períodos distintos: um úmido com excedente hídrico (maio-setembro) e outro mais seco com tendência a déficit hídrico (outubro-março).

A figura 3 apresenta a variação diária dos níveis de água subterrânea medida no poço 3 e a média móvel de 5 dias comparando com as precipitações diárias da região. É possível notar que períodos de alta precipitação coincidem com elevações na média móvel, indicando uma resposta positiva do nível do poço à entrada de água, ou seja, maior recarga. Por outro lado, em períodos com baixos índices pluviométricos, a média móvel tende a apresentar declínio, sugerindo redução na recarga do aquífero. Essa associação reforça a relevância dos eventos de chuva para a manutenção dos níveis de água subterrânea, refletindo as dinâmicas sazonais do sistema hídrico.

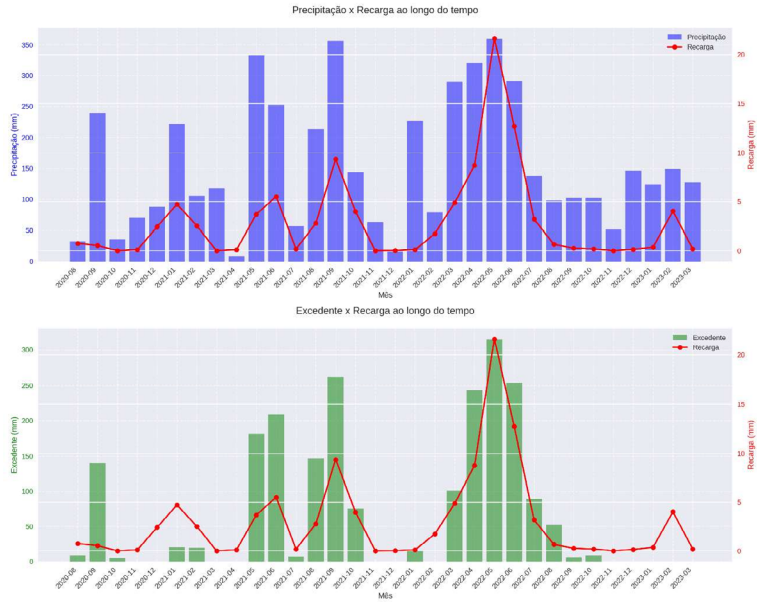
Figura 3 – Variação diária da precipitação e dos níveis de água subterrânea e sua média móvel de 5 dias



Fonte: os autores

A figura 4 apresenta a variação mensal da precipitação, excedente hídrico e recarga para cada mês monitorado, enquanto a figura 5 mostra as médias totais mensais das variáveis ao longo do período.

Figura 4 – Totais mensais de precipitação, excedente hídrico e recarga



Fonte: os autores

Figura 5 – Médias totais mensais para precipitação, excedente hídrico e recarga



Fonte: os autores

Os dados mostram uma marcante sazonalidade na precipitação e na recarga do aquífero. O período de maio a junho apresenta os maiores valores de precipitação, com média máxima de 346,50 mm em maio. A recarga acompanha este padrão, com valor máximo de 12,67 mm também em maio. Esses resultados indicam que a recarga do aquífero está diretamente relacionada aos períodos de maior precipitação, sendo mais efetiva durante os meses de outono e início do inverno.

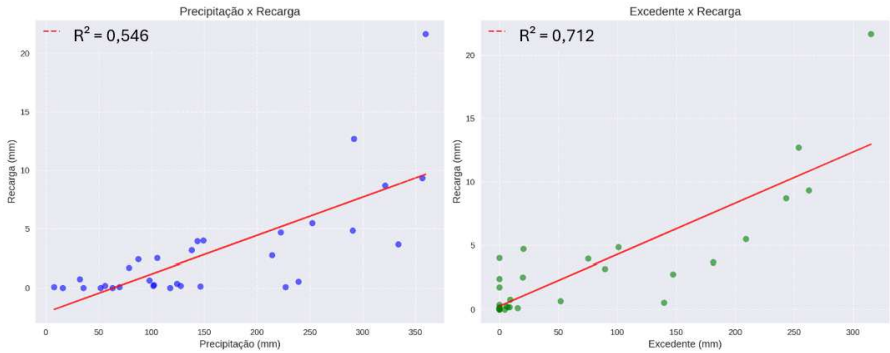
O excedente hídrico apresenta forte correlação com a recarga (Figura 6), indicando sua importância no processo de recarga do aquífero. Os maiores valores de excedente são observados em maio (248,18 mm) e junho (231,41 mm), coincidindo com os períodos de maior recarga. Por outro lado, nos meses de verão, como novembro e dezembro, o excedente hídrico é praticamente inexistente, refletindo a baixa disponibilidade de água para recarga.

A análise dos dados revela um padrão sazonal bem definido, com duas estações distintas:

a) Período Úmido (abril a setembro): Caracterizado por maiores volumes de precipitação e excedente hídrico, resultando em taxas mais significativas de recarga. b) Período Seco (outubro a março): Apresenta menores volumes de precipitação e, consequentemente, menor recarga, com déficit hídrico especialmente significativo nos meses de verão. Esses padrões sazonais destacam a importância de estratégias de gestão hídrica que considerem a variabilidade climática ao longo do ano.

A eficiência da recarga, calculada como a razão entre a recarga e o excedente hídrico, apresenta variações significativas ao longo do ano. Os resultados indicam que a taxa de conversão precipitação-recarga é relativamente baixa (aproximadamente 3-5%), o que é típico de aquíferos fraturados. A eficiência é maior nos meses com excedente hídrico significativo, refletindo a capacidade limitada do sistema em armazenar e infiltrar grandes volumes de água.

Figura 6 – Correlação entre precipitação x recarga e excedente hídrico x recarga



Fonte: os autores

Considerações Finais

O estudo do Sistema Aquífero Serra Geral na região de Caxias do Sul revelou padrões significativos na dinâmica de recarga subterrânea, demonstrando uma clara sazonalidade nos processos hidrogeológicos. A análise dos resultados permite concluir que o sistema hidrogeológico apresenta uma sazonalidade bem definida na recarga, com forte correlação entre excedente hídrico e recarga. A eficiência da recarga é relativamente baixa, mas os meses de maio e junho são críticos para a recarga do aquífero. Por outro lado, o período de novembro a março requer atenção especial na gestão dos recursos hídricos devido ao menor volume de recarga e maior déficit hídrico.

Embora os resultados apresentados forneçam valiosas relações sobre os padrões de recarga e a dinâmica do aquífero, é importante considerar que a série histórica utilizada é relativamente curta. Esse fator pode restringir a generalização dos achados, uma vez que variações climáticas e eventos extremos podem não ter sido completamente capturados nesse período limitado. Assim, torna-se fundamental ampliar a base de dados com monitoramento contínuo e de longo prazo, o que possibilitará uma análise mais robusta e confiável das tendências hidrológicas e a formulação de estratégias de gestão hídrica mais precisas e adaptativas para o sistema estudado.

Referências

BORTOLIN, T.A. Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral no Município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2014. 119 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

BORTOLIN, T. A. Estudo da Recarga do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. 2018. 221 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

DELIN, Geoffrey N. *et al.* Comparison of local-to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 334, n. 1-2, p. 231-249, 2007.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 91-109, 2002.

MELATI MD, KICH EM, TEIXEIRA ZA, ATHAYDE GB (2017) Aplicação do método Flutuação do lençol freático usando uma curva mestre de recessão (MRC) para um poço localizado na Bacia Sedimentar do Araripe. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis (SC), Brasil.

NOWREEN, S., NEWTON, I.H., ZZAMAN, R.U., ISLAM, A.K.M.S., ISLAM, G.M.T., ALAM, M.S., 2021. Development of potential map for groundwater abstraction in the northwest region of Bangladesh using RS-GIS-based weighted overlay analysis and water-table-fluctuation technique. Environ. Monit. Assess. 193 (1), 24. https://doi.org/10.1007 /s10661-020-08790-5.

ONGARATTO, Julia Mattia. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração para a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Disponível em: https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/5892. Acesso em: 19 fev. 2025

PEREIRA, A. R. Simplificando O Balanço Hídrico de Thornthwaite. Bragantia, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, Adelir José. Caracterização Hidrogeológica e Potencialidades dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*,*13., 2004, Cuiabá*.* **Anais [...].** São Paulo: ABAS, 2004.

SANTOS, D. F. dos; MARTINS, F.B.; TORRES, R.R. Impacts of climate projections on water balanceand implications on olive crop in Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 2, p. 77-82, 2017.

SCANLON, Bridget R.; HEALY, Richard W.; COOK, Peter G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 18-39, 2002.

SCANLON, Bridget R. *et al.* Groundwater recharge in natural dune systems and agricultural ecosystems in the Thar Desert region, Rajasthan, India. **Hydrogeology Journal**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 959-972, 2010.

SENTELHAS, P.C.; SANTOS, D.L. dos; MACHADO, R.E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman Monteith potential evapotranspiration. Revista Ambiente e Água, v. 3, p. 28 42, 2008.

SRH-CE (2017) Relatório final da avaliação da recarga do Sistema Aquífero Médio e Mauriti, com base no monitoramento das variações sazonais dos níveis estáticos dos poços monitorados. Contratação dos Serviços de Consultoria Especializada em Aspectos Qualiquantitativos de Águas Subterrâneas, para realizar Estudos das Águas Subterrâneas da Bacia do Araripe, no Estado do Ceará. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Consórcio Água e Solo/Quanta/Engeplus. Fortaleza (CE), Brasil.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, 1957. 311p.

YANG L et al (2018) A modified water-table fluctuation method to characterize regional groundwater discharge. Water 10:503. https://doi.org/10.3390/w10040503.

WAHNFRIED, Ingo; HIRATA, Ricardo. Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 15-25, 2005.

Modelo Ambiental, Social e de Governança (ESG): uma revisão da literatura sobre o conceito de materialidade

Morgana Vigolo[1], Wendel Paulo Silvestre[2], Camila Baldasso[3]
[1] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), mvigolo1@ucs.br;
[2] Doutor em Engenharia Química e docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), wpsilvestre@ucs.br;
[3] Doutora em Engenharia Química e docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), cbaldasso@ucs.br.

Resumo: A sustentabilidade corporativa tem ganhado relevância diante dos desafios ambientais, sociais e econômicos, como aquelas provocadas pelas mudanças climáticas e as desigualdades socioeconômicas. Nesse contexto, o modelo Ambiental, Social e de Governança (ESG) emerge como uma abordagem estratégica, integrando critérios socioambientais e de governança nas decisões empresariais. Estudos indicam que a incorporação de práticas ESG pode gerar benefícios, como maior fidelização de clientes, melhor acesso a financiamentos e fortalecimento da reputação corporativa. No entanto, persiste o desafio de identificar quais questões ESG são mais relevantes para cada organização, evidenciando a importância do conceito de "materialidade ESG", ainda pouco explorado na literatura técnico-científica. Visando preencher essa lacuna, o objetivo deste trabalho foi revisar a literatura sobre "materialidade ESG", abordando sua evolução e definições. A pesquisa, realizada por meio das bases ScienceDirect e Web of Science, identificou que o conceito de materialidade surgiu no mercado financeiro, mas evoluiu para englobar impactos ambientais e sociais, refletindo múltiplos interesses das partes interessadas. Foram analisadas as abordagens dos principais padrões internacionais, destacando-se a distinção entre materialidade financeira (SASB) e materialidade de impacto (GRI), além da crescente adoção da "dupla materialidade". Esse conceito integra ambas as perspectivas, considerando tanto os impactos da empresa no ambiente externo quanto os efeitos dessas questões em seu desempenho financeiro, consolidando-se como um modelo mais abrangente para o tratamento, decisões e divulgações ESG. Conclui-se que a adoção da dupla materialidade possibilita maiores transparência e alinhamento estratégico, contribuindo para a tomada de decisões informadas e a geração de valor sustentável. No entanto, ainda há desafios na padronização das definições e implementação desse conceito.

Palavras-chave: Dupla materialidade. Sustentabilidade corporativa. Relatório de sustentabilidade.

Environmental, Social and Governance (ESG) model: a literature review on the concept of materiality

Abstract: Corporate sustainability has gained relevance in the face of environmental, social and economic challenges, such as those caused by climate change and socioeconomic inequalities. In this context, the Environmental, Social and Governance (ESG) model has emerged as a strategic approach, integrating socio-environmental and governance criteria into business decisions. Studies indicate that the incorporation of ESG practices can generate benefits, such as greater customer loyalty, better access to financing and strengthening of corporate reputation. However, the challenge remains of identifying which ESG issues are most relevant to each organization, highlighting the importance of the concept of "ESG materiality", which is still little explored in the technical-scientific literature. Aiming to fill this gap, the objective of this work was to review the literature on "ESG materiality", addressing its evolution and definitions. The research, conducted through the ScienceDirect and Web of Science databases, identified that the concept of materiality emerged in the financial market, but has evolved to encompass environmental and social impacts, reflecting multiple interests of stakeholders. The approaches of the main international standards were analyzed, highlighting the distinction between financial materiality (SASB) and impact materiality (GRI), in addition to the growing adoption of "dual materiality". This concept integrates both perspectives, considering both the company's impacts on the external environment and the effects of these issues on its financial performance, consolidating itself as a more comprehensive model for ESG treatment, decisions and disclosures. It is concluded that the adoption of dual materiality enables greater transparency and strategic alignment, contributing to informed decision-making and the generation of sustainable value. However, there are still challenges in standardizing the definitions and implementation of this concept.

Key words: Dual materiality. Corporate sustainability. Sustainability reporting.

Introdução

A busca pela sustentabilidade corporativa tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada pelos crescentes desafios sociais e ambientais decorrentes do modelo convencional de produção e consumo. Questões críticas, como o esgotamento dos recursos naturais, a pandemia de COVID-19, as desigualdades sociais e, sobretudo, as mudanças climáticas, representam ameaças importantes e imediatas aos ecossistemas globais e à estabilidade socioeconômica. Esses fatores geram preocupações que se estendem por toda a sociedade, especialmente entre investidores e gestores empresariais (Liu, Luo & Lu, 2023).

Nesse contexto, as partes interessadas – incluindo acionistas, colaboradores, fornecedores e consumidores – exercem crescente pressão sobre as empresas para que demonstrem engajamento e compromisso

na abordagem e solução de desafios ambientais e sociais. A expectativa vai além da busca por lucro de curto prazo, exigindo a implementação de estratégias que protejam os interesses dessas partes interessadas, garantindo o bem-estar da sociedade e a preservação do meio ambiente a longo prazo (Yin, Li & Su, 2023).

Segundo Dmuchowski *et al*. (2023), um dos resultados mais evidentes dessa transformação foi a rápida ascensão de um modelo de desenvolvimento socioeconômico conhecido como modelo Ambiental, Social e de Governança (ESG, sigla em inglês para *Environmental, Social, and Governance*). Esse acrônimo representa a incorporação de questões ambientais, sociais e de governança nos processos de tomada de decisão e estratégias empresariais, rompendo com a visão tradicional de maximização do lucro como único objetivo corporativo (Gillan, Koch & Starks, 2021).

Diversos fatores motivam as empresas a adotarem práticas ESG. A literatura sobre a relação entre ESG e desempenho empresarial identifica múltiplos benefícios, como maior satisfação e fidelização de clientes e colaboradores, melhor acesso a financiamentos, fortalecimento da reputação corporativa, estímulo à inovação tecnológica, aumento da eficiência operacional e reações positivas do mercado (Chen *et al*., 2023). Em razão desses e outros fatores, estudos indicam uma correlação positiva entre ESG e desempenho financeiro das organizações (Ramírez-Orellana *et al*., 2023). No entanto, como destacam Agoraki *et al*. (2023), as empresas contemporâneas não adotam estratégias ESG apenas para impulsionar resultados financeiros, mas também para gerar impacto positivo na sociedade. Além disso, a reputação ESG se tornou uma forma de as organizações refletirem seus valores, alinhando seus interesses aos das partes interessadas e da sociedade, o que fortalece sua legitimidade e sua posição dentro da cadeia produtiva.

Apesar do crescente volume de informações ESG divulgadas, persistem dúvidas quanto à real representatividade desses dados em relação aos impactos ambientais e sociais das empresas ou se, em alguns casos, servem apenas como estratégia de legitimação de interesses específicos (Sepúlveda-Alzate, García-Benau & Gómez-Villegas, 2021). Um dos principais desafios corporativos é, portanto, identificar quais questões ESG são mais relevantes para a gestão estratégica e para a elaboração de divulgações ESG claras e confiáveis. A definição adequada dessas prioridades permite uma alocação mais eficiente de recursos e tempo,

além de garantir a produção de informações precisas e, idealmente, auditadas (Garst *et al*., 2022; Mio, Fasan & Scarpa, 2023).

Embora a agenda ESG abranja uma ampla gama de temas, é essencial que as empresas concentrem seus esforços nas questões mais relevantes para seus processos e impactos ambientais e sociais. Nesse contexto, o conceito de materialidade, que consiste na identificação dos temas ESG críticos capazes de influenciar a tomada de decisão e o julgamento das partes interessadas, tem ganhado destaque (Eccles & Serafeim, 2013). De acordo com Mio, Fasan e Scarpa (2023), os temas materiais são aqueles considerados suficientemente importantes para serem incorporados à gestão estratégica, contribuindo para a otimização dos processos, a geração de valor e o sucesso da organização nos âmbitos econômico, ambiental e de impacto na sociedade.

Contudo, apesar da crescente relevância do ESG, a materialidade ainda é um tema pouco explorado na literatura técnico-cientifica, conforme apontado por Kim e Lee (2020). Diante dessa lacuna, este trabalho busca aprofundar a compreensão sobre o conceito de materialidade ESG, oferecendo uma revisão da literatura e contribuindo para o avanço das discussões sobre o tema.

Metodologia

Neste artigo, realizou-se uma revisão da literatura relacionada ao conceito da materialidade ESG. A pesquisa bibliográfica foi conduzida por meio da plataforma *ScienceDirect*, fornecida pela Elsevier, e da base de dados *Web of Science*, da Clarivate, que abrangem uma ampla variedade de periódicos e publicações científicas.

Definições e evolução do conceito de materialidade ESG

O conceito de materialidade, tradicionalmente utilizado no mercado financeiro desde a década de 1960 para se referir aos temas que podem ter impacto no desempenho financeiro de uma organização, ganhou força ao ser relacionado com os fatores ambientais, sociais e de governança (Macneil & Esser, 2022). De acordo com Jorgensen, Mjos e Pedersen (2021), o conceito de materialidade tem sido cada vez mais adaptado do contexto da contabilidade financeira para o dos negócios e dos relatórios de sustentabilidade e informações de impacto socioambiental das empresas.

No mercado financeiro, a materialidade indica que os temas materiais são aquelas questões-chave capazes de influenciar as decisões de investidores, acionistas e demais provedores de capital, incluindo temas socioambientais, desde que tenham potencial de impactar o desempenho econômico-financeiro de uma organização. Já no contexto não financeiro, a materialidade envolve um processo amplo de escuta, abrangendo a visão sobre os impactos do negócio na sociedade e no meio ambiente, incorporando as percepções das partes interessadas internas e externas na identificação e avaliação das questões-chave consideradas relevantes por cada público (Jebe, 2019; Delgado-Ceballos *et al*., 2023).

Segundo Jorgensen, Mjos e Pedersen (2021), a natureza maleável do conceito de materialidade permitiu o realinhamento e reinvenção do conceito ao longo do tempo, em resposta às novas prioridades e desafios que surgem. No entanto, o problema atual reside na existência de diversas definições para o conceito de materialidade, mesmo entre os principais padrões internacionais, o que evidencia a falta de uma definição comum, conforme mostrado no Quadro 1. Essa dissonância entre as diferentes definições de materialidade contribui para o entendimento diferente de conceitos e práticas ESG conforme o modelo escolhido por cada organização.

Quadro 1 – Definições de materialidade usadas pelos principais padrões ESG internacionais

Organização	Definição de materialidade
GRI – *Global Reporting Initiative*	"Temas materiais são temas que representam os impactos mais significativos da organização na economia, no meio ambiente e nas pessoas, inclusive impactos nos direitos humanos".
SASB – *Sustainability Accounting Standards Board*	"O SASB identifica questões financeiramente relevantes, que são as questões com probabilidade razoável de impactar a condição financeira ou o desempenho operacional de uma empresa e, portanto, são mais importantes para os investidores".
IIRC – *International Integrated Reporting Council*	"Um assunto é material se ele pode afetar, de maneira substancial, a capacidade de uma organização de gerar valor em curto, médio e longo prazo".

IFRS – *International Financial Reporting Standards*	"A informação é material se a sua omissão, distorção ou obscuridade puder influenciar razoavelmente as decisões dos investidores".
EFRAG – *European Financial Reporting Advisory Group*	"O empreendimento deve relatar questões de sustentabilidade com base no princípio da dupla materialidade".

Fonte: IIRC (2013); GRI (2021); EFRAG (2022); SASB (2023).

Jorgensen, Mjos e Pedersen (2021) destacam que as duas principais abordagens à materialidade correspondem àquelas utilizadas pela *Global Reporting Initiative* (GRI) e pelo *Sustainability Accounting Standards Board* (SASB). Contudo, o GRI e o SASB historicamente adotaram definições de materialidade fundamentalmente diferentes, como se observa no Quadro 1. A SASB adota uma perspectiva voltada para a situação financeira da empresa, conhecida como "materialidade financeira", enquanto o GRI foca em uma abordagem além do escopo puramente financeiro, abordando temas que impactam o meio ambiente, a sociedade e/ou a governança da organização, conhecida como "materialidade de impacto", a qual tem contribuído para a expansão das discussões sobre a materialidade em geral (Jebe, 2019; ABNT, 2024). Embora existam tensões entre essas duas abordagens, não há um problema em ter visões diferentes, desde que sejam claramente comunicadas na forma de comunicação para garantir a compreensão das partes interessadas. Além disso, a possibilidade de os padrões e diretrizes trabalharem em conjunto para relatórios corporativos também pode ser útil para fornecer um cenário de materialidade mais claro e informativo (Jorgensen, Mjos & Pedersen, 2021).

Portanto, os recentes esforços de colaboração entre padrões e diretrizes, especialmente a EFRAG (2022), conforme evidenciado no Quadro 1, enfatizam a importância do que é referido como "dupla materialidade". Essa abordagem fornece uma perspectiva holística da materialidade ao integrar a "materialidade financeira" e a "materialidade de impacto", visando proporcionar maior clareza e transparência, beneficiando todos os usuários dessas informações, desde partes interessadas em geral até acionistas e investidores. Ou seja, a "dupla materialidade" refere-se ao impacto de uma empresa tanto no entorno externo como no seu desempenho financeiro. A "dupla materialidade" considera o impacto das externalidades provocadas pela organização sobre o meio

ambiente e a sociedade e o impacto de questões socioambientais na atividade da organização (EFRAG, 2022; Delgado-Ceballos *et al*., 2023).

A aplicação prática da dupla materialidade possibilita uma melhor compreensão dos riscos e oportunidades em termos de sustentabilidade, permitindo que a empresa tome decisões mais informadas e desenvolva estratégias mais eficazes. Além disso, esta prática aumenta a transparência em relação aos impactos sociais e ambientais da organização, reforçando sua credibilidade e facilitando a identificação de novas oportunidades de negócio (Aras & Kazak, 2022). De acordo com Delgado-Ceballos *et al*. (2023), a compreensão e aplicação da dupla materialidade ainda estão em fase emergente. No entanto, os esforços para sua adoção são fundamentais, não só para a sustentabilidade dos negócios, mas também para a sustentabilidade socioambiental global.

Simplificando, a "dupla materialidade", considerada a abordagem mais adequada no contexto ESG, envolve um processo de escuta amplo, que inclui a análise da relevância de um tema com base no impacto que ele pode gerar, seja positivo ou negativo, real ou potencial, nos âmbitos econômico, social e/ou ambiental (Kim & Lee, 2020; ABNT, 2024). A partir da determinação da "dupla materialidade", é possível compreender os temas nos quais a organização pode gerar maior valor, uma vez que as empresas não conseguem abordar todos os aspectos da agenda ESG de forma simultânea.

Isso se deve à amplitude da agenda ESG, que engloba uma vasta gama de temas em cada um de seus pilares. No Quadro 2 estão apresentados alguns exemplos dos principais temas materiais sugeridos por padrões e diretrizes, bem como abordados por organizações.

Quadro 2 – Exemplos de alguns temas materiais sugeridos por padrões e diretrizes ESG

Pilar ESG	Tema
Ambiental (E)	Mudanças climáticas
	Qualidade do ar
	Gestão de Água e efluentes
	Gestão de energia
	Economia Circular e Gestão de Resíduos
	Impactos ecológicos
	Design de produto e gerenciamento do ciclo de vida
	Segurança Química
	Fornecimento de matéria-prima
Social (S)	Diversidade, equidade e inclusão
	Qualidade e segurança do produto
	Segurança de Dados
	Práticas trabalhistas
	Direitos Humanos
	Saúde e Segurança dos Funcionários
	Relações com a Comunidade
	Promoção de responsabilidade social na cadeia de valor
Governança (G)	Ética empresarial
	Gestão do Ambiente Legal e Regulatório
	Gestão de Riscos de Incidentes Críticos
	Gestão de Riscos Sistêmicos
	Transparência na gestão

Fonte: Ozkan, Romagnolu & Rossi (2023); SASB (2023); MSCI (2024).

Aras e Kazak (2022) e Demir, Min e Coppola (2022) ressaltam que a relevância dos temas pode variar consideravelmente entre organizações, dependendo do seu contexto específico e setor de atuação. Além disso, a materialidade é dinâmica, refletindo a sua dimensão temporal: à medida que as empresas evoluem, novos temas materiais podem surgir enquanto questões ESG anteriormente prioritárias podem perder relevância (Jorgensen, Mjos & Pedersen, 2021).

Apesar da existência de padrões, diretrizes e documentos orientativos que auxiliam as empresas na realização de avaliações de materialidade, ainda há margem para interpretação sobre como condu-

zir um processo de materialidade ESG eficaz (WBCSD, 2021). Assim como ocorre com o próprio conceito de materialidade, a ausência de consenso sobre a metodologia de avaliação pode ter um impacto considerável sobre as divulgações corporativas. Por exemplo, descrições vagas das avaliações podem deixar os leitores sem informações claras sobre os dados e critérios utilizados para decisões de materialidade, além de poder até favorecer práticas de *greenwashing*, que envolvem camuflar, exagerar, omitir ou mesmo mentir sobre os impactos socioambientais de atividades, produtos ou serviços de uma empresa.

Para evitar avaliações de materialidade vagas ou tendenciosas, ao mesmo tempo em que se mantém a especificidade organizacional, Garst *et al*. (2022) destaca a importância de padronizar o processo de materialidade para informações não financeiras. Em seu estudo, os autores investigaram seis etapas principais para a realização de uma avaliação de materialidade ESG, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Visão geral das seis etapas da avaliação de materialidade ESG

Etapa	Descrição
Escolha da perspectiva de materialidade	Definir a abordagem de materialidade a ser utilizada: 1) materialidade financeira; 2) materialidade de impacto; ou 3) dupla materialidade.
Identificação de temas	Selecionar os temas ESG a incluir nas avaliações, considerando padrões e diretrizes de relatórios e os impactos identificados e avaliados do negócio.
Determinação de fontes de informação	Definir as partes interessadas que serão consultadas para o processo de determinação da materialidade ESG.
Atribuição de pontuação	Coletar as informações sobre os temas identificados com as partes interessadas selecionadas e avaliar a prioridade do tema atribuindo pontuações.
Seleção dos temas materiais	Combinar as pontuações para classificar e selecionar os temas mais relevantes; a matriz de materialidade é uma das ferramentas mais utilizada para análise e apresentação destas informações.
Ciclo de Materialidade	Definir a periodicidade para repetir a avaliação, a fim de captar mudanças nas prioridades e o surgimento de novos temas.

Fonte: Garst *et al*. (2022).

De acordo com os autores, essas etapas proporcionam uma base estruturada, que auxilia na realização de avaliações de materialidade mais

consistentes e transparentes, evitando práticas como o *greenwashing* e promovendo uma comunicação mais precisa e transparente entre as partes interessadas.

Conclusão

A revisão da literatura realizada neste trabalho evidencia que o conceito de materialidade evoluiu, passando de uma abordagem exclusivamente financeira para uma perspectiva abrangente, que integra aspectos ambientais, sociais e de governança, ou seja, o ESG. Além disso, a emergência do conceito de dupla materialidade ressalta a necessidade de considerar não apenas o impacto das operações empresariais no desempenho econômico-financeiro (impacto interno), mas também os efeitos dessas operações sobre o meio ambiente e a sociedade (impacto externo). No entanto, a coexistência de múltiplas definições e metodologias adotadas pelos principais padrões internacionais revela uma lacuna que ainda precisa ser harmonizada.

Por fim, destaca-se que, de acordo com o WBCSD (2021), a materialidade pode ser uma ferramenta mais abrangente para integrar os temas ESG na tomada de decisões estratégicas, utilizando os resultados para avaliar as estratégias atuais e orientar as prioridades futuras. Com essa abordagem mais integrada, a avaliação de materialidade pode aumentar a transparência acerca das prioridades da empresa e como elas foram estabelecidas, proporcionando também uma oportunidade de integrar de forma sistemática as opiniões das partes interessadas em relação às prioridades, oportunidades, riscos e planos futuros.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PR 2030-2: Ambiental, social e governança (ESG) Parte 2: Diretrizes para determinação da materialidade**. Rio de Janeiro:, ABNT 2024.

AGORAKI, M. E. K.; GIAKA, M.; KONSTANTIOS, D.; PATSIKA, V. Firms' sustainability, financial performance, and regulatory dynamics: Evidence from European firms. **Journal of International Money and Finance**, v. 131, Mar. 2023. DOI: . Acesso em: 19 jun. 2023.

ARAS, G.; HACIOGLU KAZAK, E. Aumentando o valor da empresa através das lentes da materialidade ESG: evidências do setor bancário nos países da OCDE. **Sustentabilidade**, set. 2022, v. 14, DOI: https://doi.org/10.3390/su142215302. Acesso em: 27 jun. 2024

CHEN, L.; KHURRAM, M. U.; GAO, Y.; ABEDIN, M. X.; LUCEY, B. ESG disclosure and technological innovation capabilities of the Chinese listed companies.

Research in International Business and Finance, v. 65, Apr. 2023. DOI: https://doi.o'rg/10.1016/j.ribaf.2023.101974. Acesso em: 22 jun. 2023.

DELGADO-CEBALLOS, J.; ORTIZ-DE-MANDOJANA, N.; ANTOLÍN-LÓPEZ, R.; MONTIEL, I. Connecting the Sustainable Development Goals to firm-level sustainability and ESG factors: The need for double materiality. **BRQ Business Research**, v. 26, p. 2–10, Dec. 2022. DOI: https://doi.org/10.1177/23409444221140919. Acesso em: 10 jun. 2023.

DEMIR, M.; MIN, M. K.; COPPOLA, L. Discrepancies in reporting on human rights: A materiality perspective. **Thunderbird International Business Review**, v. 64, p. 169-178, Feb. 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/tie.22255. Acesso em: 30 jun. 2023.

DMUCHOWSKI, P., DMUCHOWSKI, W., BACZEWSKA-DĄBROWSKA, A., GWOREK, A. Environmental, social, and governance (ESG) model; impacts and sustainable investment – Global trends and Poland's perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 329, Mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117023. Acesso em: 15 abr. 2023.

ECCLES, R.G., SERAFEIM. G. The performance frontier. **Harvard Business Review**, v. 91, n. 5, p. 50-60, may. 2013. Disponível em: Harward-Articolo_CSR.pdf (vedogreen.it). Acesso em: 15 abr. 2023.

GARST, J., MAAS, K., SUIJS, J. Materiality Assessment Is an Art, Not a Science: Selecting ESG Topics for Sustainability Reports. **California Management Review**, v. 65, n. 1, sep. 2022. DOI https://doi.org/10.1177/00081256221120692. Acesso em: 08 abr. 2023.

GILLAN, S. L.; KOCH, A.; STARKS, L. T, Firms and social responsibility: A review of ESG and CSR research in corporate finance. **Journal of Corporate Finance**, v. 66, Feb. 2021, DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2021.101889. Acesso em: 05. Jun. 2023.

JEBE, R. The Convergence of Financial and ESG Materiality: Taking Sustainability Mainstream. **American Business Law Journal**, v. 56, p. 645-702, Aug. 2019. DOI: **https://doi- org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1111/ablj.12148.** Acesso em: 22 jun. 2023.

JORGENSEN, S., MJØS, A.; PEDERSEN, L. Sustainability reporting and approaches to materiality: tensions and potential resolutions. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 13, Oct. 2021, p. 341-361. DOI: https://doi.org/10.1108/SAMPJ-01-2021- 0009. Acesso: 10 ago. 2024.

KIM, B.; LEE, S. The impact of material and immaterial sustainability on firm performance: The moderating role of franchising strategy. Tourism Management, v. 77, Aug. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.103999. Acesso em: 18 jun. 2023.

LIU, M.; LUO, X.; LU, W. Z.Public perceptions of environmental, social, and governance (ESG) based on social media data: Evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 387, Feb. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135840. Acesso em: 16 jun. 2023.

MACNEIL, I.; ESSER, I. M. From a financial to an entity model of ESG. **European Business Organization Law**, v. 23, p. 9-45, Jan. 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s40804-021-00234-y. Acesso em: 24 jun. 2023.

MIO, C.; FASAN, M. Francesco Scarpa. Materiality investor perspectives on utilities' ESG performance. An empirical analysis of ESG factors and cost of equity. **Utilities Policy**, v. 82, June 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101555. Acesso em: 11 Jun. 2023.

OZKAN, S.; ROMAGNOLI, S.; ROSSI, P. A novel approach to rating SMEs' environmental performance: Bridging the ESG gap. **Ecological Indicators**, v. 157, Dec. 2023, DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111151. Acesso em: 06 ago. 2024.

RAMÍREZ-ORELLANA, A.; MARTÍNEZ-VICTORIA, M.; GARCÍA-AMATE, A.; Rojo-

Ramírez, A. A. Is the corporate financial strategy in the oil and gas sector affected by ESG dimensions?. Reso**urces Policy**, v, 81, Mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103303. Acesso em: 08 jun. 2023.

SEPÚLVEDA-ALZATE, Y.; GARCÍA-BENAU, M.; GÓMEZ-VILLEGAS, M. **Materiality assessment: the case of Latin American listed companies**. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 13, July 2024, p 88-113, DOI: 10.1108/SAMPJ-10-2020-0358. Acesso 06 ago. 2024.

WORLD BUSINESS CUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **The reality of materiality: insights from real-world applications of ESG materiality assessments**. June 2021. Disponível em: https://www.wbcsd.org/Programs/Redefining- Value/Redesigning-capital-market-engagement/Resources/The-reality-of-materiality-insights- from-real-world-applications-of-ESG-materiality-assessments. Acesso em: 15 jun. 2023.

YIN, X. N.; LI, J. P.; SU, C. W. How does ESG performance affect stock returns? Empirical evidence from listed companies in China. **HELIYON**, v. 9, May 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16320. Acesso em: 24 jun. 2023.

Efeito da incorporação de resíduos nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas no estado endurecido

Handellon Kleyton de Jesus Santos[1], João Marcos Lima Carvalho[2], Laísa Fontes Santiago Chaves[3], Rui Barbosa de Souza[4], Vania Elisabete Schneider[5]
Universidade Federal de Sergipe (UFS) /Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC) – [1](handellonkleyton@gmail.com); [2](eng.jmlima@gmail.com); [3](laisa-fontes@hotmail.com); [4](rui.souza@academico.ufs.br); [5](veschnei@ucs.br)

Resumo: Devido ao caráter artesanal do setor da construção civil, um alto volume de resíduo de construção e demolição (RCD) é gerado anualmente, detrito que poderia ser reciclado e utilizado na substituição parcial da areia na produção de argamassa, sendo consumido em grande escala no setor. Essa simples prática contribui para o consumo sustentável e diminuição da extração de matéria-prima. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar os comportamentos de argamassas produzidas com a substituição parcial de areia por resíduos oriundos do RCD, por meio de ensaios de aderência, espalhamento, granulometria, resistência, absorção e squeeze-flow, realizados tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para tal fim, foram elaborados quatro tipos de amostras: uma argamassa de referência (cimento + areia + cal) e outras três ecoeficientes, cada uma com um tipo diferente de resíduo (argamassa histórica, argamassa jovem, cerâmica vermelha), substituindo 20% da areia por estes resíduos, que são pertencentes à classe A da classificação do Conama. Ao comparar os resultados obtidos com as diferentes adições, foi observado que a otimização da granulometria e a dosagem adequada têm relação direta com o desempenho das argamassas, sobretudo no que se refere à aderência e resistência mecânica. O uso de resíduos em argamassas demonstrou um potencial para aplicação, no entanto, a escolha do resíduo deve ser analisada conforme a finalidade da utilização.

Palavras chave: Argamassas, Propriedades físicas e mecânicas, Resíduos de Construção Civil, Sustentabilidade.

Effect of waste incorporation on the physical and mechanical properties of mortars in the hardened state

Abstract: Due to the artisanal nature of the civil construction sector, a high volume of construction and demolition waste (CDW) is generated annually. This debris could be recycled and partially used as a replacement for sand in mortar production, consumed on a large scale within the sector. This simple practice contributes to sustainable consumption and reduces the extraction of raw materials. In this context, the main point of the present study is to analyze

the behavior of mortars produced with the partial replacement of sand by CDW-derived waste through adhesion, spreading, particle size distribution, strength, absorption, and squeeze-flow tests, conducted in both fresh and hardened states. To this end, four types of samples were prepared: a reference mortar (cement + sand + lime) and three eco-efficient mortars, each with a different type of waste (historic mortar, young mortar, red ceramic), replacing 20% of the sand with these wastes, which belong to class A of the Conama classification. By comparing the results obtained with the different additions, it was observed that the optimization of particle size distribution and adequate dosage are directly related to the performance of the mortars, especially regarding adhesion and mechanical strength. The use of waste in mortars demonstrated potential for application, however, the choice of waste should be analyzed according to the intended use.

Keywords: Mortars, Physical and mechanical properties, Construction waste, Sustainability.

Introdução

O ramo da construção civil é um dos que mais crescem no Brasil, contudo ainda de modo deficiente no que se refere a adoção de práticas sustentáveis. Como exemplo, se tem o alto consumo de recursos naturais e geração de resíduos, tendo somente no ano de 2022, gerado um montante de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) (ABREMA, 2023). No que se refere ao gerenciamento desses resíduos, a resolução 307 do Conama 307/02 (Brasil, 2002), classifica o RCD em quatro categorias: classe A (reutilizáveis ou reciclados como agregado); B (recicláveis para outros usos); C (não existe tecnologia ou viabilidade econômica para sua reciclagem) e D (resíduos perigosos). Segundo Pimenta *et al.* (2016), os resíduos gerados pertencentes a classe A correspondem a mais de 50% dos resíduos de construções com paredes de alvenaria estrutural e parede de concreto. Por mais que já tenham sido publicados estudos que comprovam que a incorporação de RCD como agregado melhora as propriedades da argamassa (Silva *et al.*, 2024; Oliveira, Nóbrega, 2023; Batista *et al.*, 2022), dentro do RCD existem inúmeros resíduos, como resíduos de cerâmica vermelha (RCV), provenientes de intervenções de restauro em edificações históricas (RAH) e resíduos de argamassa nova (RAJ), que se diferenciam pelos materiais que os compõem. Enquanto o RCV é composto por bloco cerâmico, o RAH é formado por argamassa histórica de cal (cal + areia) e o RAJ por argamassa mista jovem, ou seja, com reduzida idade de hidratação (cimento + areia + cal).

Tendo em vista atenuar o impacto ambiental proveniente do descarte destes resíduos, atrelado a melhorar a ecoeficiência das argamassas, o presente estudo está focado na reciclagem do RCV, RAH e RAJ, utilizando-os como agregado na produção de argamassas, substituindo em 20% o agregado miúdo natural – areia, no traço 1:3, diminuindo a demanda por essa matéria prima. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver estudos para análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas das argamassas para revestimento no estado endurecido com a introdução dos resíduos (RVC, RAH, RAJ), análise essa feita a partir dos ensaios de aderência, espalhamento, granulometria, resistência, absorção e *squeeze-flow*.

Visto as tragédias climáticas que estão sendo vivenciadas ao redor do globo, o presente trabalho se faz importante por discutir produtos que possam ser utilizados no setor da construção civil, na busca por reduzir seu impacto ambiental. Objetiva-se incentivar não só a redução da geração de resíduos, como também dar um uso ao que já foi gerado visando contribuir com o cumprimento dos pilares do Environmental, Social and Governance (ESG) por parte das empresas e os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), em particular os de número nove (Construir infra estruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação), onze (Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis) e treze (Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos)(ONU, 2025).

Metodologia

Caracterização dos materiais

Para a composição dos materiais foram utilizados o cimento Portland do tipo CPV-ARI, cal hidratada CHIII, resíduo de cerâmica vermelha (RCV), resíduo de argamassa histórica (RAH), resíduo de argamassa jovem (RAJ), areia lavada natural e água da rede de abastecimento pública. Os resíduos utilizados no desenvolvimento do trabalho foram recolhidos em obras, com exceção do RAJ, o qual foi produzido em laboratório com proporção de argamassa 1:0,5:4,5 (cimento, cal, agregado miúdo), moldados em corpos de prova (CP) com dimensões de 5x10 cm e desmoldada em 24h. Após o desmolde dos CP's, todos os resíduos foram triturados no moinho de mandíbulas, configurado para

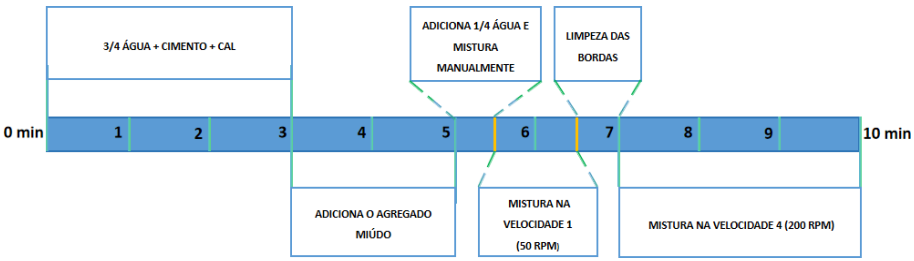
gerar partículas de tamanho compatível com a granulometria da areia, conforme NBR 15116 (ABNT, 2021), a qual estabelece os requisitos para uso de agregados reciclados em argamassas.

Seguindo as diretrizes da norma técnica NBR 17054 (ABNT, 2022), a distribuição do tamanho de partículas foi determinada com o auxílio de um conjunto de peneiras da série normal, onde foram colocados os três resíduos, separadamente, em um peneirador mecânico durante 10 minutos. Utilizou-se na produção das argamassas, a areia passante na peneira de abertura 2,48 mm e os resíduos na peneira passante de 1,2 mm.

Produção de argamassas

A amostra de referência foi produzida com o traço unitário 1:0,5:4,5 (cimento, cal, agregado miúdo), enquanto as amostras com resíduo (arg.HIS, arg.RCV e arg.RAJ) teve traço de 1:0,5:0,9:3,6 (cimento, cal, resíduo, areia), com a substituição de 20% da areia por agregado reciclado. O teor de água das misturas variou, uma vez que todas as formulações foram ajustadas para atingir o mesmo espalhamento no ensaio de espalhamento na mesa de consistência, conforme NBR 13276 (ABNT, 2016). A produção das argamassas seguiu o procedimento descrito na Figura 1, utilizando-se um misturador planetário de 4,5 litros de capacidade para a mistura dos materiais de forma homogênea em um período de 10 minutos. Após a produção, todas as misturas foram ensaiadas na mesa de consistência para verificação do espalhamento, e ensaio de *squeeze-flow* na sequência. Em seguida, as amostras foram moldadas em formas de 5x10cm, desmoldadas após 24h e colocadas em cura imersa em água saturada de cal por período de 7 dias.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção das argamassas

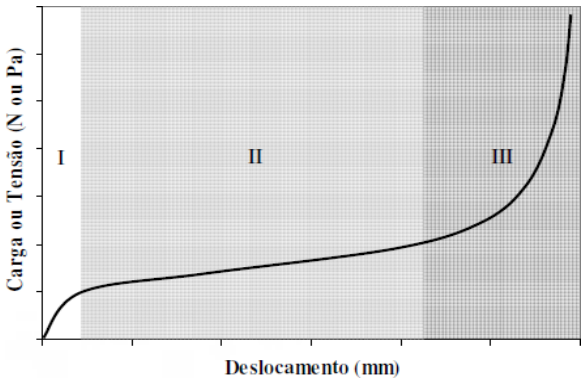


Fonte: Carvalho *et. al.* (2024).

Indicadores de comportamento

O ensaio de *squeeze-flow* foi realizado nas 4 amostras de argamassa, sendo cada amostra puncionada de forma central. Foram adotados os seguintes parâmetros de ensaio: carregamento à compressão até carga máxima de 1 kN (célula de carga de 5 kN); velocidade de carregamento de 0,25 N/s e punção circular de 100 mm de diâmetro. O molde utilizado seguiu o modelo adotado por Carvalho *et al.* (2024). Para o procedimento de moldagem procedeu conforme Cardoso, Pileggi e John (2010), com preenchimento do molde sem adensamento da amostra. Sendo o gráfico gerado no *squeeze-flow* composto por três regiões distintas, que resultam das análises das propriedades dos materiais. Essas propriedades são avaliadas com base na tensão ou carga aplicada ao material em função do deslocamento vertical da punção, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Carga x deslocamento de um ensaio de squeeze-flow



Nota: I: deformação elástica; II: deformação plástica; III: strain hardening. Fonte: Cardoso, Pileggi e John (2010)

Para a determinação das propriedades físicas das argamassas adotou-se o princípio de Arquimedes, conforme ensaios realizados por Souza (2014), o qual seguiu procedimentos da NBR 9778 (ABNT, 2009). A imersão dos CP's das 4 diferentes argamassas foi realizada em lotes de 3 exemplares cada, em água saturada de cal durante 7 dias após o desmolde, permanecendo nessa condição até a realização dos ensaios, garantindo a completa saturação das amostras. No 5º dia de cura imersa, as massas saturadas e imersas dos CP's foram medidas com uma balança higroscópica. Para obter a massa seca, as amostras foram levadas para a estufa, por 24 horas em temperatura de 70°C. Após a medida de

massa seca, as amostras retornaram para a cura imersa por 24h para a realização do ensaio de resistência à compressão. A porosidade, densidade aparente, densidade real e absorção de água (equação 1, 2, 3 e 4, respectivamente) foram calculadas conforme o Quadro 1.

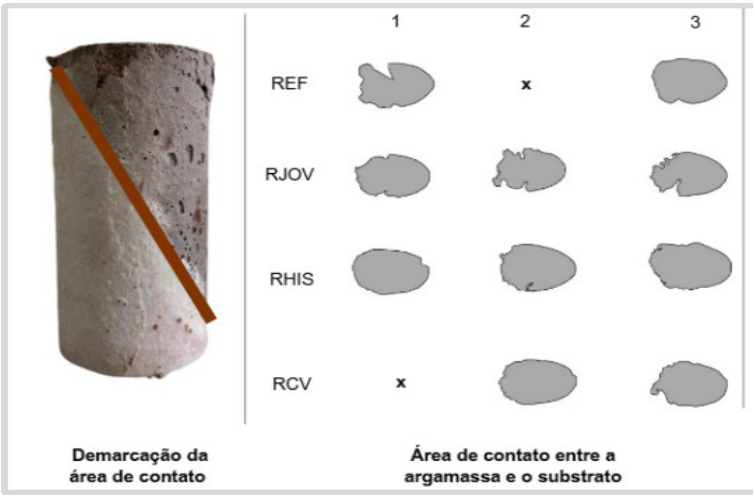
Quadro 1 – Equações de porosidade, densidades aparente e real e absorção de água por princípio de Arquimedes

$P = \frac{m_{sat} - m_{seca}}{m_{sat} - m_{im}}$ (1)	$D_{ap} = \frac{m_{seca}}{m_{sat} - m_{im}}$ (2)	$D_{real} = \frac{m_{seca}}{m_{seca} - m_{im}}$ (3)	$Ab = \frac{m_{sat} - m_{seca}}{m_{seca}}$ (4)

Fonte: Souza (2014).
Legenda: *P* – Porosidade (%); *D*ap – Densidade aparente (g/cm³); *Dreal* – Densidade real (g/cm³); *Ab* – Absorção de água (%); m_{sat} – Massa saturada (g); m_{seca} – Massa seca (g); m_{im} – Massa imersa (g).

Os ensaios de compressão axial foram realizados em prensa eletromecânica, modelo DL 20 da EMIC, onde as amostras foram submetidas a uma taxa de carregamento de 0,45 MPa/seg. Para a avaliação da aderência foi produzido um substrato de argamassa branca de traço 1:1:0,3 (cimento, agregado miúdo, água), onde foi adicionado 1% de superplastificante policarboxilato. O substrato foi moldado de forma inclinada no CP até atingir o tempo de pega. Em seguida, as amostras de argamassas foram moldadas sobrepostas ao substrato, no mesmo molde cilíndrico. As misturas foram adensadas em 3 camadas, com aplicação de 10 golpes de soquete em cada. A Figura 4 é uma fotografia de como ficou após endurecido, com a configuração de um plano inclinado de contato entre argamassa e substrato, região favorável à ruptura por cisalhamento. A área dessa região foi medida através de software de análise de imagem.

Figura 4 – Corpo de prova com substrato inclinado e argamassa, com regiões das áreas de contato medida em software de análise de imagens



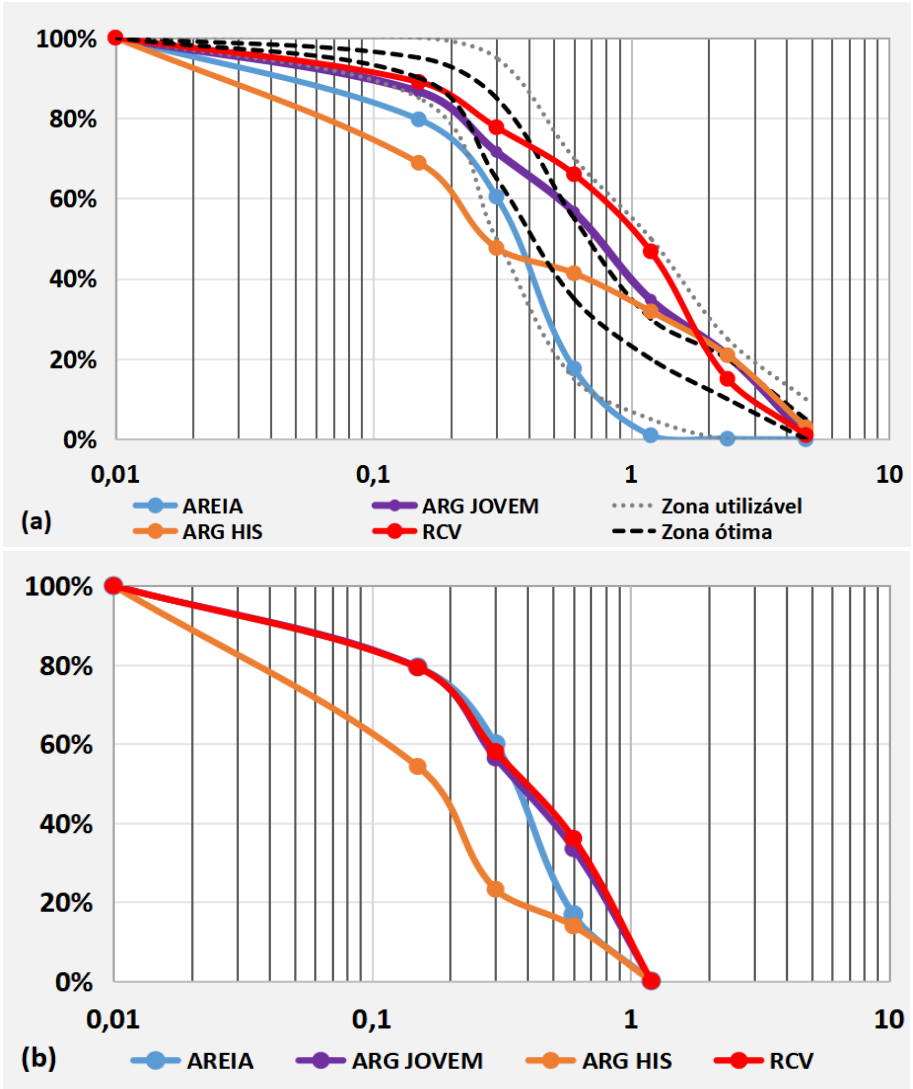
Fonte: Autoria própria (2025)

Resultados e discussão

Caracterização dos materiais

Os resíduos e agregados utilizados na composição das argamassas foram analisados quanto à distribuição de tamanho das partículas. Na Figura 5a é apresentada a caracterização original dos materiais, após a trituração no caso dos resíduos. Já a Figura 5b mostra as curvas granulométricas dos materiais usados na confecção das argamassas, após peneiramento. A Figura 5a mostra que ambos os agregados analisados apresentaram uma curva dentro dos limites da zona utilizável, com exceção da amostra RAH que apresentou em sua composição mais de 50% de finos abaixo de 0,3mm, resultando em uma curva fora do trecho utilizável (ABNT NBR 7211:2022). A Figura 5b mostra que ao eliminar a fração mais grossa dos agregados no peneiramento, as amostras resultantes apresentam poucas diferenças de distribuição granulométrica, com exceção da amostra RAH, cujo teor de partículas menores de 0,6mm é maior em relação aos demais materiais.

Figura 5 – Distribuição granulométrica dos agregados (a) e granulometria usada na argamassa (b)



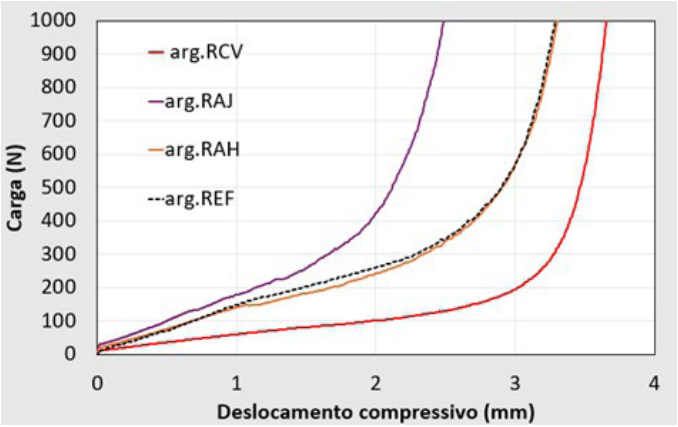
Fonte: Autoria própria (2025)

Indicadores de comportamento reológico das argamassas

As argamassas foram produzidas para apresentarem o mesmo comportamento na mesa de consistência, com espalhamento de 260mm. Isso resultou em diferentes demandas de água, variando 14,2% na amostra arg.REF, 15,8% nas amostras arg.RAH e arg.RAJ, e 17,5%

na argamassa arg.RCV. A demanda de água é função da área superficial específica dos materiais constituintes, indicando que o resultado da moagem gerou partículas mais angulosas, com maior rugosidade superficial, dos agregados reciclados, sendo superior no resíduo RCV. A diferença de rugosidade das partículas recicladas e as diferenças no consumo de água das misturas influenciaram no comportamento reológico das argamassas, segundo os resultados de *squeeze-flow* (Figura 6). O maior consumo de água na argamassa arg.RCV resultou em maior facilidade de fluxo, inclusive nos maiores deslocamentos, indicado pelo ponto de *strain hardening* (deslocamento máximo da amostra na carga resistente de 1 kN) de 3,6mm.

Figura 6 – Carga obtida no ensaio de *squeeze-flow* em função do deslocamento compressivo



Fonte: Autoria própria (2025)

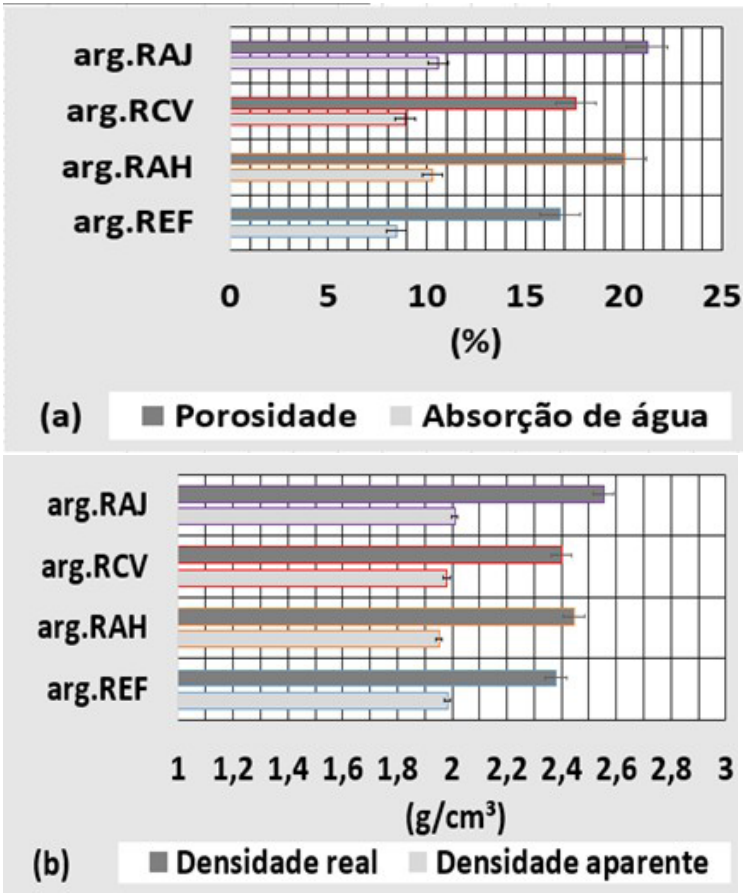
O tamanho das partículas é importante no comportamento reológico das argamassas, uma vez que partículas em pó têm seu fluxo governado por forças eletromagnéticas, e sua presença confere forças capilares de coesão ao material, enquanto partículas maiores sofrem influência preponderante de forças de massa (Mitarai e Nori, 2006; Pileggi, 2001 *apud* Costa, 2006). A maior inclinação das curvas das amostras arg. RAJ, arg.RAH e arg.REF no trecho de deformação plástica indica que estas apresentaram maior coeficiente de viscosidade em relação à amostra arg.RCV. Este comportamento não apresentou correlação com o tamanho de partículas dos agregados, no entanto, a área superficial específica das frações mais finas presentes em cada agregado pode causar tais forças capilares, causando coesão e viscosidade às argamas-

sas. Além disso, as forças capilares de coesão são descritas segundo a equação de Laplace, sendo o teor de água da mistura, fator de grande influência (Souza, 2014).

Propriedades físicas das argamassas

O consumo de água da mistura, o grau de empacotamento de partículas e a porosidade dos grãos do agregado são fatores que podem influenciar na porosidade dos compósitos cimentícios (Hoppe Filho *et al*., 2025; Santos, 2025; Wagih *et al*., 2013). A argamassa com resíduo cerâmico sintetizado (arg.RCV) apresentou menor porosidade (17,6%) em comparação às demais com resíduos reciclados (arg.RAH com 20,1% e arg.RAJ com 21,2%), devido à menor porosidade intrínseca do material cerâmico, apesar de sua maior demanda de água (figura 7a). A tendência observada na absorção de água seguiu a mesma da porosidade, já que ambas se referem à capacidade de retenção hídrica. A densidade real foi maior nas amostras com resíduos ricos em cimento e cal (arg. RAH e arg.RAJ), enquanto a densidade aparente apresentou variações menos expressivas entre as amostras, pois considera conjuntamente os efeitos da densidade dos materiais (figura 7b) e da porosidade. A maior quantidade de partículas mais finas presentes no resíduo RAH, assim como a maior demanda de água observada na amostra arg.RCV, não influenciaram na porosidade de modo a ser observado em correlações entre estes resultados.

Figura 7 – Porosidade total, absorção de água (a), densidade real e densidade aparente (b) das argamassas



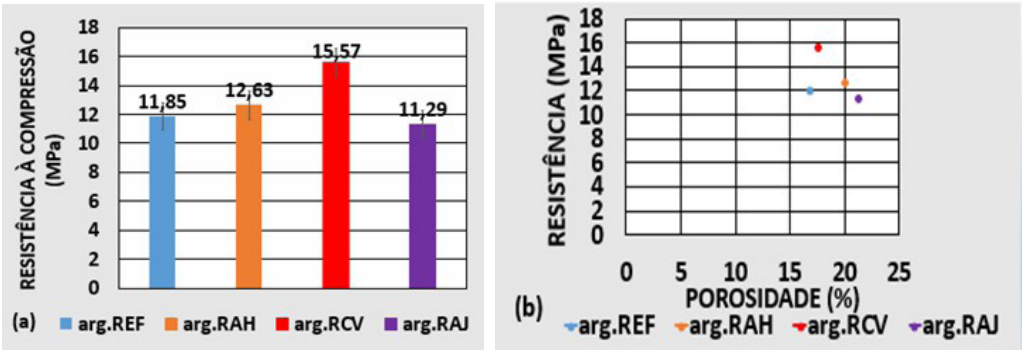
Fonte: Autoria própria (2025)

Indicadores de comportamento mecânico das argamassas

A porosidade do material é reconhecida como o principal fator que influencia a resistência mecânica dos compósitos cimentícios, conforme descrito pela lei de Abrams (Tutikian; Helene, 2005). A amostra com menor porosidade entre aquelas com resíduos, a arg.RCV, apresentou a maior resistência à compressão axial (15,57 MPa), superando até mesmo a amostra de referência arg.REF (11,85 MPa), o que está de acordo com os dados de porosidade total (Figura 8a e 8b). No entanto, a literatura indica que não há correlação direta entre resistência à compressão e resistência de aderência das argamassas (Carasek, 2010), o

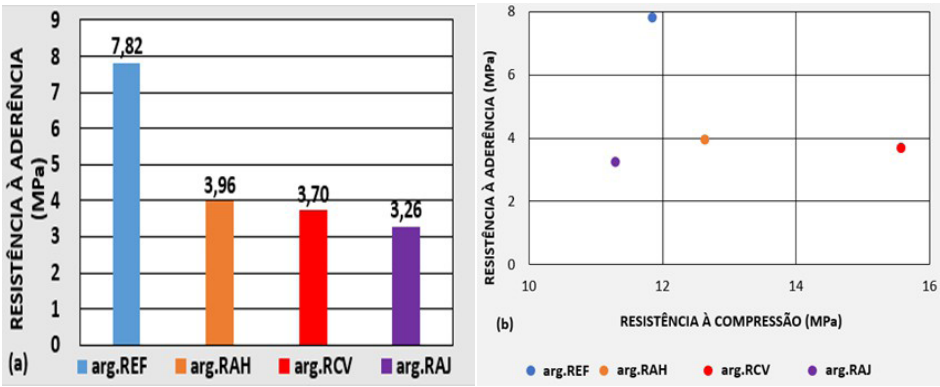
que foi confirmado pelos ensaios realizados: a amostra arg.REF, apesar de menor resistência à compressão, obteve resistência de aderência ao cisalhamento até 2,4 vezes superior que as demais (figura 9a), e não foi observada tendência clara entre os dois parâmetros analisados (figura 9b). A ausência de correlação entre as resistências da argamassa ao substrato já era prevista, embora se reconheça que as propriedades reológicas da argamassa influenciam diretamente na área de contato com o substrato, facilitando sua penetração nas rugosidades superficiais (Carasek, 2010). Apesar disso, os indicadores reológicos obtidos nas amostras estudadas não apresentaram relação com a resistência de aderência ao cisalhamento. Entre os fatores que poderiam afetar essa aderência estão o teor de ligante (constante no estudo); as condições ambientais durante a aplicação(temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, que foram fixadas nas moldagens); e a rugosidade e porosidade do substrato, também padronizadas.

Figura 8 – (a) Resistência à compressão e (b) relação entre porosidade e resistência das argamassas



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 9 – (a) Resistência à aderência e (b) Relação das resistências mecânicas das argamassas



Fonte: Autoria própria (2025)

Um possível fator de influência seria a alteração da tensão superficial entre substrato e argamassa causada pelas adições de resíduos, o que poderia modificar a hidrofobicidade entre as fases. Para confirmar essa hipótese, seriam necessários experimentos complementares que avaliem o ângulo de contato entre cada argamassa fresca e o substrato utilizado.

Conclusões

Diante dos resultados analisados neste trabalho, pode-se concluir que:

- O beneficiamento de resíduos de construção e demolição, com a moagem em moinho de mandíbulas, para a sua reciclagem, resulta em agregados para argamassas com características distintas a depender do material reciclado. O rejeito de argamassa histórica resultou em agregado miúdo com maior teor de finos, em comparação com os demais rejeitos reciclados. O rejeito de cerâmica vermelha resultou em agregado com menor porosidade, influenciando diretamente na porosidade da argamassa. O rejeito com argamassa jovem resultou nas argamassas com maior volume de poros, provavelmente devido ao reduzido grau de hidratação do cimento presente no rejeito;
- As diferentes características dos agregados reciclados resultaram primeiramente na diferente demanda de água entre as argamassas

estudadas. Considerando que o operário em campo buscará sempre a mesma condição reológica da argamassa, a maior demanda de água resultou em maior facilidade de fluxo da argamassa, o que é benéfico. Ocorre que a relação água/sólidos maior também reduziu o coeficiente de viscosidade, propriedade desejada nas argamassas aplicadas em assentamento e revestimento, por exemplo;

- A maior porosidade observada nas argamassas com resíduos resultou em menor resistência à compressão axial, no entanto, esta propriedade não é prioritária considerando argamassas de assentamento e revestimento;
- Não foi observada relação entre resistência à compressão e resistência de aderência, sendo que a aplicação de resíduos reciclados reduziu significativamente a resistência de aderência medida no cisalhamento, entre as amostras estudadas;
- Apesar da bibliografia apresentar que o comportamento reológico das argamassas é o principal fator interveniente da resistência de aderência desta em substratos, esta relação não foi observada no presente estudo. A hipótese apresentada é de que os resíduos podem ter alterado a tensão superficial entre a fase argamassa e a fase substrato, alterando a zona de transição na região de interface.

Os resultados apresentados mostram que é possível a produção de argamassas com características semelhantes a uma argamassa mista de referência. No entanto, a importante propriedade de resistência de aderência ainda precisa ser aprimorada, e para isso estudos de interação entre argamassa e substrato precisam ser realizados.

Referências

ABREMA, Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil** 2023. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2023. 54 p. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em: 20 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116:** Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054:** Determinação da composição granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022

BATISTA, B. C. C. *et al.* Influência da adição de RCD misto na resistência à compressão e na porosidade de argamassa. **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 59, n. 3, p. 934–946, 30 set. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5005. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/download/5005/1765. Acesso em: 15 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil e dá outras providências. Brasília, 2002.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2 ed. São Paulo, IBRACON, v. 1. p. 893-943, 2010.

CARDOSO, F. A PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Squeeze-flow aplicado a argamassa de revestimento: Manual de utilização**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo, EPUSP. v. 1, p. 1-31, 2010. Disponível em: https://www.apfac.pt/docs/manual_squeeze-flow_consitra_vnorma.pdf. Acesso em: 12 set. 2024.

CARVALHO, J. M. L.; CHAVES, L. F. S.; SANTOS, H. K. de J.; SOUZA, R. B. de. Análise reológicada incorporação de cerâmica vermelha reciclada nas propriedades de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais [...].** Porto

Alegre: ANTAC, 2024. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6191. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6191. Acesso em: 11 abr. 2025.

COSTA, M. R. M. M. da. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos.** 2006. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

HOPPE FILHO, J.; ROCHA. T. M.; BISPO, M. V. M. M.; GARCEZ, M. R. Resíduo de cerâmica vermelha na composição de agregado miúdo de argamassas: efeitos nas propriedades físico-mecânicas. **Ambiente Construído**, v. 25, p. 1-21, 2025.

MITARAI, N.; NORI, F. Wet granular materials. **Advances in Physics**, v. 55, p. 1-45, 2006.

ONU, Organização das Nações Unidas (Brasil). **Objetivos de desenvolvimento sustentável,** [2025]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 12 abr. 2025.

OLIVEIRA, P. K. S.; NÓBREGA, A. F. Propriedades nos estados fresco e endurecido de argamassas autonivelantes contendo resíduo da construção e demolição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023. Anais [...]. *[S. l.]*, 2023. DOI: 10.46421/sbta.v14.4772.

Disponívelem: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4772. Acesso em: 14 fev. 2025.

PIMENTA, C.; RIBEIRO H. F.; JARDIM, I. S.; DUARTE, N. F. Quantificação e composição dos resíduos da construção civil em edificações de grande porte. **Revista Ambiente & Resíduos,** São Paulo, v 2, n 7, p. 52-60, 2016.

SANTOS, A. C. dos. **Análise do UHPC produzido com resíduos: comportamento físico, mecânico e avaliação ambiental**. 2025. 93 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025.

SILVA, J. F. R.; SILVA, I. C.; FUENTES, J. V.; SANTOS, M. D.; CARNEIRO, A. M. P. Utilização de resíduos de materiais de construção civil na fabricação de argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre:

ANTAC,2024.DOI:10.46421/entac.v20i1.6050.Disponívelem: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6050. Acesso em: 21 fev. 2025.

SOUZA, R. B. DE. **Estudo da retração em fibrocimento reforçado com fibra polimérica.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-22102014-095743/pt-br.php. Acesso em: 08 jan. 2025.

TUTIKIAN, Bernardo F; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 439-471, 2005.

WAGIH, A. M.; KARMOTY. H. Z.; EBID. M.; OKBA. S. H. Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. **HBRC journal**, v. 9, n. 3, p. 193-200, 2013.

Análise da Eficácia das Ações propostas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Farroupilha do ano de 2014

Patrícia Braz Martins[1], Denise Peresin[2], Tiago Panizzon[3], Bianca Breda[4] e Juliano Rodrigues[5]

[1, 2, 3, 4, 5] *Instituto de Saneamento Ambiental – Universidade de Caxias do Sul, e-mails: pbmartins1@ucs.br; dperesin@ucs.br; bbreda@ucs.br; tpanizzo@ucs.br; jrgimene@ucs.br*

Resumo: A ocorrência comum de lixões ilegais no final da década de 1990 evidenciava a necessidade de legislações relacionadas ao manejo correto dos RSU. A lei federal 12.305 de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre as diretrizes da gestão integrada dos resíduos sólidos no Brasil. Tal instrumento menciona o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) com um importante instrumento para a gestão pública, bem como para acesso aos recursos da União. O PMGIRS deve prever programas e ações relacionadas a áreas de interesse para a gestão de resíduos. Sendo assim, este estudo teve como objetivo analisar o nível de eficácia das ações propostas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Farroupilha de 2014, identificando os principais fatores interferentes. A metodologia aplicada para a realização do trabalho consistiu na realização de uma auditoria das ações propostas, a partir de uma planilha estruturada para o definido fim e preenchida por representantes do poder público. A síntese e análise dos resultados obtidos demonstraram que 237 ações foram propostas no plano, sendo que 117 não foram executadas, 49 foram executadas parcialmente, 51 ações foram executadas e 20 ações foram consideradas como não aplicáveis. A análise das justificativas apresentadas para as ações não executadas, executadas parcialmente ou não aplicáveis demonstrou que os principais fatores interferentes foram a falta de pessoal para execução da ação e a dificuldade de articulação e gestão política.

Palavras-chave: PMGIRS; programas, projetos e ações; auditoria

Analysis of the Effectiveness of the Actions Proposed in the 2014 Municipal Plan for Integrated Solid Waste Management of Farroupilha

Abstract: The common occurrence of illegal dumps in the late 1990s highlighted the need for legislation related to p roper Municipal Solid Waste (MSW) management. Federal Law 12.305 of August 2, 2010, established the

National Solid Waste Policy, outlining guidelines for the integrated management of solid waste in Brazil. This regulation identifies the Municipal Plan for Integrated Solid Waste Management (PMGIRS) as a key instrument for public administration and access to federal resources. The PMGIRS must include programs and actions related to areas of interest in waste management.Thus, this study aimed to analyze the effectiveness of the proposed actions in the 2014 Municipal Plan for Integrated Solid Waste Management of Farroupilha, identifying the main interfering factors. The methodology applied involved auditing the proposed actions using a structured spreadsheet d esigned for this purpose, completed by public authority representatives. The synthesis and analysis of the results showed that 237 actions were proposed in the plan, of which 117 were not executed, 49 were partially executed, 51 were fully executed, and 20 were considered not applicable.The analysis of the justifications provided for the non-executed, partially executed, or non-applicable actions revealed that the main interfering factors were the lack of personnel for action implementation and difficulties in political articulation and management.

Key words: Programs, projects, and actions; audit; waste

Introdução

Durante a década de 1990 e início dos anos 2000, era comum a existência de lixões ilegais, que acabavam por ocasionar a degradação ambiental, e gerar grandes riscos de acidentes e à saúde pública. Tal situação evidenciava a necessidade da intervenção do poder público, em todas as suas esferas (federal, estadual e municipal), na gestão dos resíduos. Diante deste cenário, surge a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) e posteriormente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída na lei federal 12.305 de 12 de agosto de 2010 (BRASIL,2010).

A PNRS prevê que todas as etapas da gestão dos resíduos e rejeitos devem ser executadas de acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que serve como direcionamento para o adequado gerenciamento de resíduos de um município, bem como condicionante para o acesso a recursos da União relacionados à limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Após a etapa diagnóstica do plano devem ser previstos programas e ações a serem executadas pelo município, abordando os temas de capacitação técnica, educação ambiental e participação de grupos interessados (associação de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis) (BRASIL, 2010). De forma complementar o Decreto Federal n° 10.936, de 12 de janeiro de 2022 também evidencia a necessidade de sua revisão e atualização periódica do plano, induzindo a revisão das ações (BRASIL, 2022).

Entretanto, nem todas as ações previstas em um PMGIRS são integralmente implementadas, devido à influência de diversos fatores. Essa limitação pode comprometer a efetividade do plano, tornando-o um instrumento meramente documental. Nesse sentido, a participação popular pode constituir um mecanismo essencial de fiscalização, contribuindo para a verificação do nível de execução das ações propostas. Diante deste contexto, este estudo teve como **objetivo analisar o nível de eficácia das ações propostas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Farroupilha de 2014,** identificando os principais fatores interferentes.

A análise temporal do nível da eficácia das ações previstas em determinado PMGIRS pode representar uma importante ferramenta para verificar a pertinência e adequação das ações propostas à determinada realidade.

Metodologia

A auditoria das ações propostas no PMGIRS do munícipio de Farroupilha, elaborado em 2014, foi realizada como parte da revisão executada nos anos de 2024/2025 tendo como referência o "Termo de Referência para Revisão de Plano Municipal de Saneamento Básico da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA)" do ano de 2020, documento que regula os critérios da avaliação da implementação de um PMGIRS. O Termo de Referência citado indica que no processo de revisão, as ações propostas devem ser avaliadas e acompanhadas por meio dos indicadores que foram adaptados de forma pertinente ao estudo realizado.

Foi estruturada uma planilha como ferramenta para auditar as metas e ações previstas no PMGIRS de 2014 nos eixos de resíduos sólidos e limpeza urbana. A planilha foi preenchida pela Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente e revisado por representantes do Comitês de Coordenação e Executivo, instituído pela portaria n° 301, de 15 de fevereiro de 2024, para a revisão do PMGIRS (FARROUPILHA, 2024), e considerou os seguintes itens:

- prazo previsto e ano da execução: para a avaliação da eficácia;
- documentos de comprovação e responsável pela resposta;
- observações gerais.

Do preenchimento da planilha de acompanhamento, foi avaliada a execução das ações de curto prazo, com prazo final para execução previsto para o ano de 2015 e das ações de médio prazo, com prazo final para execução previsto em 2019. Destaca-se que o plano não previu ações de longo prazo, uma vez que o plano deve ser revisado no prazo máximo de dez anos, conforme dispõe a lei federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL,2020).

As ações foram sistematizadas de acordo com os programas propostos no PMGIRS de 2014 nas áreas de:

- sistema municipal de gestão de resíduos;
- coleta seletiva; implementação da logística reversa;
- resíduos industriais; implementação e controle do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS);
- resíduos dos serviços de transporte;
- resíduos de serviços públicos de saneamento básico;
- resíduos da criação animal;
- resíduos especiais;
- educação ambiental.

O nível de execução foi classificado em: ações executadas, parcialmente executadas, não executadas e não aplicáveis, considerando-se apenas as ações executadas como eficazes.

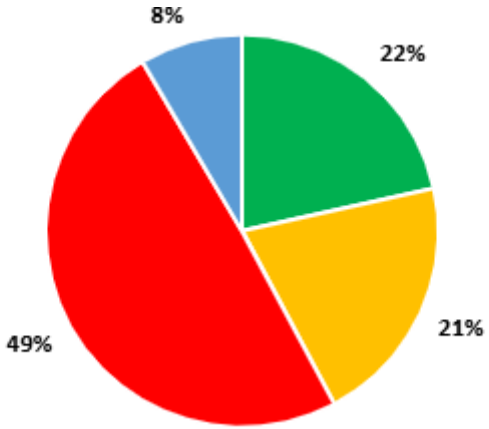
Para as ações consideradas como executadas(eficazes) foi solicitada a descrição e comprovação da execução.

Para as ações não executadas ou executadas parcialmente, ou que foram consideradas como não aplicáveis ao município, foi solicitado o motivo que impediu a execução ou fez com que a ação não fosse aplicável. As respostas foram sintetizadas, para a observação dos fatores ligados a eficácia das ações propostas.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos das respostas da planilha de acompanhamento, referentes à execução das ações previstas no PMGIRS 2014 estão sistematizados na Figura 1.

Figura 1 – Síntese do grau de execução (eficácia) das ações previstas no PMGIRS 2014



Fonte: PMGIRS (2014), sistematizado por ISAM (2024).

A partir da sistematização dos dados, com relação a eficácia das ações (nível de execução) foi possível observar que foram propostas 237 ações no PMGIRS de 2014. Da totalidade das ações propostas, 117 não foram executadas representando 49% do total, 51 ações foram executadas (22%), 49 ações foram executadas parcialmente (21%) e 20 ações (8%) não foram executadas por serem consideradas como não aplicáveis a realidade do município.

Ações não executadas ou executadas parcialmente

Foi investigado o motivo para o não cumprimento das ações propostas no PMGIRS 2014 que não foram executadas ou executadas parcialmente. Os resultados obtidos, de acordo com a temática do programa sugerido estão organizadas na Tabela 1. A representação gráfica da quantidade de motivos apresentados, de acordo com o total é representada na Figura 1.

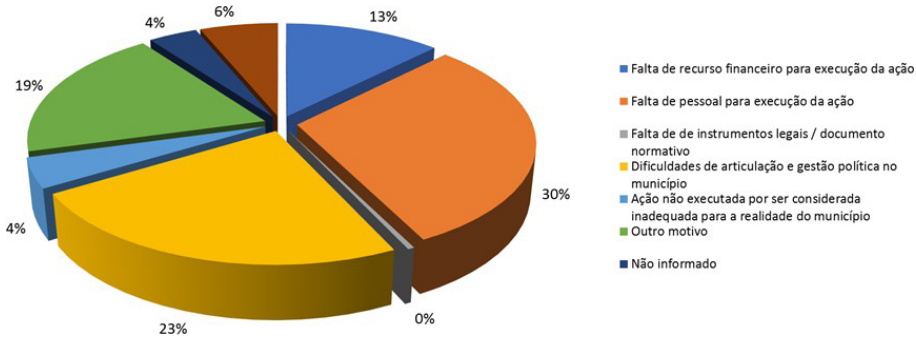
Tabela 1 – Motivações apresentadas para a não execução das ações propostas no PMGIRS 2014

	Falta de recurso financeiro para execução da ação	Falta de pessoal para execução da ação	Falta de de instrumentos legais / documento normativo	Dificuldades de articulação e gestão política no município	Ação não executada por ser considerada inadequada para a realidade do município	Outro motivo	Não informado	Não aplicável
Gestão de resíduos sólidos	4	32	-	24	5	10		2
Coleta Seletiva	3	10	1	11	4	8	8	-
Res. reversos	11	12	-	9	1	17	1	-
Res. Industriais	-	1	-	1	-	2	-	-
Res. de Serviços de Saúde (RSS)	2	2	-	2	1	3	-	5
Res. do Transporte	-	4	-		-	-	-	5
Res. de Serviços públicos de saneamento	1	1	-	1	-	-	-	3
Res. de Criação Animal	1	2	-	2	-	1	-	1
Res. Especiais	4	7	-	6	-	2	1	2
Educação Ambiental	6	6	-	4	-	6	-	2
Total	**32**	**77**	**1**	**60**	**11**	**49**	**10**	**16**
%	**13%**	**30%**	**0%**	**23%**	**4%**	**19%**	**4%**	**6%**

Fonte: PMGIRS (2014), sistematizado por ISAM (2024)

A representação gráfica da quantidade de motivos apresentados, de acordo com o total é representada na Figura 1.

Figura 1 – Representação gráfica das motivações apresentadas para a não execução das ações propostas no PMGIRS 2014



Fonte: PMGIRS (2014), sistematizado por ISAM (2024).

Observa-se que a "falta de pessoal para execução da ação" foi a principal motivação para o não cumprimento das ações sugeridas, representando cerca de 30% de todas as justificativas apresentadas. As "dificuldades de articulação e gestão política no município" apareceram em 23% das justificativas e outros motivos não especificados em 19%.

Ações consideradas como não aplicáveis

A motivação para que as ações fossem consideradas como não aplicáveis foi descrita no preenchimento da planilha de acompanhamento e verificou-se que que os programas de resíduos dos serviços de transporte e de resíduos de serviços públicos de saneamento básico foram os que tiveram mais ações consideradas como não aplicáveis.

Para os resíduos de serviços de transporte a justificativa apresentada indica a mudança na legislação relacionada aos resíduos perigosos, a resolução CONSEMA 372/2018, que dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, na qual os empreendimentos com códigos 4740,10 e 4740,40 (coleta e transporte de resíduo classe II e transporte de equipamentos de grande porte) na tabela de correlação entre os ramos de atividades licenciáveis do Estado são considerados dispensados da realização de licenciamento ambiental.

Para os resíduos de serviços públicos de saneamento básico, a justificativa apresentada foi a de que conforme resolução de n° 222

da diretoria colegiada, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de 28 de março de 2018, os efluentes de serviços de saúde podem ser lançados diretamente na rede de esgoto público, quando existir. Na ausência de rede pública de esgoto, como ocorre no município de Farroupilha, é necessário implementar um sistema de tratamento de efluentes, que inclua a utilização de fossas sépticas e filtros. Conforme informado, o município já adota medidas para a aprovação de projetos, com a análise prévia do sistema de fossa e filtro, bem como a realização de vistorias no sistema antes do início de sua operação.

Considerações finais

A avaliação das ações propostas no Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos demonstrou que o município apresenta resultados insatisfatórios no que tange a eficácia. Isso se deve ao fato de que apenas 22% das ações foram executadas completamente.

O estudo possibilitou a verificação dos fatores que resultaram na não execução, ou execução parcial, das ações propostas, demonstrando que o fator principal foi a falta de pessoal para a execução da ação. Este fator pode estar ligado a falta de qualificação dos profissionais envolvidos no manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana, ou na falta de contratação de novos servidores, também ligada ao investimento de recursos financeiros para o gerenciamento de resíduos sólidos, fator que influencia diretamente na implementação das ações. Outro fator evidenciado, a falta de articulação e gestão política remete a necessidade de um diálogo integrativo entre entes interessados como secretarias municipais, grupos políticos e associações de catadores, buscando um consenso a respeito das prioridades para o avanço na execução.

As atualizações nas legislações relacionadas à gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) podem modificar condicionantes e requisitos obrigatórios, influenciando diretamente a implementação e a aplicabilidade das ações planejadas. Essas mudanças exigem a constante adaptação dos planos e estratégias municipais, garantindo a conformidade com as normativas vigentes e a efetividade das políticas de gestão de resíduos.

Este trabalho evidenciou a importância da revisão e atualização periódica do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) como instrumento essencial para avaliar a pertinência e a adequação das ações propostas à realidade local. Além disso, destacou-se a relevância da participação pública no processo, não apenas

como um mecanismo de controle social, mas também como um fator determinante para incentivar a busca por recursos e estratégias que viabilizem a execução das ações planejadas. A mobilização da sociedade civil contribui para a efetividade das políticas de gestão de resíduos, promovendo a transparência, a corresponsabilidade e a melhoria da qualidade de vida da população.

Referências

BRASIL. Lei Federal n° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Planalto, Brasil, DF. Disponível em: L12305. Acesso em: 09 jan. 2025.

BRASIL. Lei Federal n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Planalto, Brasil, DF. Disponível em: Lei nº 11.445. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Lei Federal n° 14.026, de 15 de julho de 2020. Estabelece as diretri zes nacionais para o saneamento básico e dá outas providências. Planalto, Brasil, DF. Disponível em: L14026. Acesso em: 15 jan. 2025.

BRASIL. Decreto n° 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos e dá outas providências. Planalto, Brasil, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. Acesso em: 15 jan. 2025.

BRASIL. Decreto n° 10.936 de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm. Acesso em 11 fev. 2025.

CARBONAI, Davide; BAUM, Juliana; CAMIZ, Sergio. Gestão municipal de resíduos e ambiente institucional no Rio Grande do Sul. EURE (Santiago), Santiago, v. 46, n. 138, p. 139-153, maio 2020.

FARROUPILHA. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. 2014.

Desvendando os resíduos das enchentes no Rio Grande do Sul em 2024: análise, impacto e soluções sustentáveis

Julia Scholl[1], Isabell E. H. Radice[2], Daniela Fracasso[3], Ezequiel Capeletti[4], Vânia Elisabete Schneider[5]

[1] Estudante do CETEC Fundamental, Universidade de Caxias do Sul (jscholl@ucs.br)
[2] Estudante do CETEC Fundamental, Universidade de Caxias do Sul (iehradice@ucs.br)
[3] Professora do CETEC Fundamental, Universidade de Caxias do Sul (dfracasso@ucs.br)
[4] Professor do CETEC Fundamental, Universidade de Caxias do Sul (ecapeletti1@ucs.br)
[5] Professora Doutora da UCS, Universidade de Caxias do Sul (veschnei@ucs.br)

Resumo: O objetivo do estudo foi analisar os tipos e os destinos dos resíduos provenientes das enchentes no Rio Grande do Sul (RS) em 2024, a fim de compreender com precisão os impactos causados pelas chuvas. Para isso, adotou-se uma metodologia baseada na leitura e análise de notícias e reportagens veiculadas nas mídias brasileira e internacional nos últimos meses. Esses eventos podem causar danos significativos com riscos à vida e à saúde humana, impactos aos sistemas de saneamento e geração de resíduos que vão desde materiais minerais, vegetação, edificações, e demais elementos que fazem parte das atividades humanas, gerando impactos de natureza socioeconômica e ambientais. No RS, as enchentes de maio de 2024 decorrentes de intensa precipitação resultaram em saturação do solo, deslizamentos de terra e bloqueios de estradas, com perdas materiais incalculáveis em que cidades inteiras foram afetadas. Como resultado, foram elaborados quadros explicativos que detalham não apenas os tipos de resíduos da construção civil encontrados, mas também seus destinos e possíveis soluções para a problemática.

Palavras-chave: Enchentes; Resíduos da construção civil; Rio Grande do Sul.

Discovering flood waste in Rio Grande do Sul in 2024: analysis, impact and sustainable solutions

Abstract: The objective of the study was to analyze the types and destinations of these materials in order to understand the impacts caused by the rains in Rio Grande do Sul (RS). To achieve this, a methodology based on the reading and analysis of news articles and reports published in Brazilian and international media over the past few months was adopted. These events can cause significant damage with risks to human life and health, impacts on sanitation systems, and the generation of waste, ranging from mineral materials, vegetation, buildings, and other elements that are part of human activities in society, resulting in socioeconomic and environmental impacts. In RS, the floods of May 2024, caused by intense rainfall, led to soil saturation, landslides, and

road blockages, with incalculable material losses, affecting entire cities. This research addresses the waste generated by the floods that affected the state of RS in May 2024. As a result, explanatory charts were created that detail not only the types of debris found but also their destinations and possible solutions to the issue.

Key words: Floods; Debris; Rio Grande do Sul.

Introdução

As enchentes são fenômenos naturais decorrentes do transbordamento de corpos d'água, geralmente ocasionados por chuvas intensas, derretimento de neve ou ambos. Esses eventos podem causar danos significativos e representar riscos à vida humana, sendo agravados pela poluição hídrica, contribuindo para o aumento do volume de água e intensificando seus impactos ambientais e sociais (FERREIRA, 2019).

No RS, as enchentes de maio de 2024 resultantes de intensa precipitação, levaram à saturação do solo, deslizamentos de terra e bloqueios de estradas, dificultando o acesso às cidades. Áreas urbanas foram severamente atingidas, com a destruição de moradias e infraestrutura, deixando milhares de pessoas desabrigadas e elevando os índices de mortalidade. O setor agropecuário também sofreu grandes perdas, impactando a economia local (G1, 2024).

Diante dessa problemática, esta pesquisa analisa o potencial de resíduos acumulados após as enchentes indicando alternativas para sua destinação adequada, incluindo envio para aterros, a reciclagem e outras soluções sustentáveis. O estudo fundamenta-se em análise documental de materiais sobre os eventos recentes, sistematizando informações e apresentando estratégias para minimizar os impactos desses resíduos.

Referencial teórico

A poluição da água é um desafio ambiental global, causado por atividades humanas que introduzem contaminantes como metais pesados, produtos químicos, esgotos e plásticos nos corpos d'água. O desmatamento agrava a situação, aumentando a erosão e comprometendo a qualidade da água. As consequências incluem impactos no abastecimento de água e na biodiversidade, exigindo regulamentações, saneamento, práticas sustentáveis e educação ambiental (KIEVEL, 2023).

No RS, as enchentes recentes foram intensificadas pelo fenômeno *El Niño*, que aumentou as chuvas e sobrecarregou o sistema de drenagem. O desmatamento e a urbanização desordenada reduziram a absorção do solo, elevando o escoamento superficial. O relevo do estado, com áreas mais baixas, também contribuiu para o acúmulo de água e as inundações (PEGORIM, 2024; FERREIRA, 2019).

A hidrografia do RS, com diversas bacias e rios, foi determinante para os alagamentos. A bacia do Rio Guaíba, formada pelos rios Taquari-Antas, Jacuí, Sinos, Caí,Gravataí, Vacacaí e Vacacaí-Mirim, sofreu sobrecarga devido ao excesso de chuvas e ao arraste de materiais pela força das águas e pela inundação das regiões baixas como a Região Metropolitana de Porto Alegre e municípios de entorno. O nível do Guaíba subiu de 3,5 metros (2023) para 5,25 metros (2024), alagando Porto Alegre e desabrigando milhares de pessoas (G1, Globo, 2024).

As enchentes impactaram cerca de 400 mil estruturas, gerando 46,7 milhões de toneladas de RCC (Resíduo da Construção Civil). Aproximadamente 11% das edificações foram destruídas e 42% sofreram danos estruturais graves, com maior concentração de resíduos nas sub-bacias dos rios Gravataí, Sinos e Guaíba (ALESSI, 2024). A gestão emergencial incluiu aterros de inertes em Gravataí, contratados por R$ 19,7 milhões para até 180 mil toneladas de resíduos, além de unidades temporárias de transbordo e equipes especializadas na remoção de detritos, incluindo corpos humanos, animais e veículos (SALLES, 2024).

Procedimentos metodológicos

Este estudo adotou duas principais abordagens metodológicas: a pesquisa documental, focada particularmente em notícias, permitindo uma compreensão ampla e contextualizada das enchentes que afetaram o RS em 2024. O objetivo foi analisar esses eventos naturais, quantificar os resíduos gerados e investigar formas adequadas de destinação e reaproveitamento desses materiais.

Para a estruturação da pesquisa, foram elaborados quadros sistematizados, nos quais as informações coletadas em diversas fontes foram organizadas e categorizadas. Inicialmente, a separação dos resíduos realizada em maio de 2024 possibilitou a identificação e o registro de diferentes tipos de materiais, como resíduos sólidos e RCC, fundamentais para avaliar os impactos ambientais e planejar a recuperação das

áreas atingidas. Esses dados foram compilados em um quadro específico, facilitando uma análise objetiva e estruturada.

Em um segundo quadro, foram examinadas as legislações ambientais brasileiras, destacando as diretrizes para o descarte correto dos resíduos. Essa análise permitiu verificar se o manuseio desses materiais estava sendo conduzido conforme as normativas vigentes, além de avaliar a possibilidade de reaproveitamento dos detritos resultantes das enchentes.

Resultados e discussão

A análise dos materiais coletados tem como objetivo evidenciar as consequências das chuvas intensas, agravadas pela poluição, que resultaram na grande produção RCC e material orgânico. Esses fatores geraram sérios desafios ambientais e de saúde pública. Os resultados obtidos, apresentados a seguir, foram fundamentais para a construção deste estudo, sendo baseados principalmente em informações de jornais online, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações sobre as enchentes em fontes de notícias.

Fonte da Notícia:	Quantidade de Resíduo	Tipo de Resíduos:	Trecho de texto extraído do original:
Enchentes deixaram 46 milhões de toneladas de lixo no RS (PODER360, 2024).	46,7 milhões de toneladas.	Provenientes do mobiliário e equipamentos industriais e toneladas provenientes de edifícios destruídos.	"Gravataí: 17,5 ton; Sinos: 12,6 toneladas; Guaíba: 6,4 toneladas; Taquari: 5,1 ton; Caí: 2,2 ton; Pardo: 1,7 ton; Jacuí: 852,700 ton; Outras: 24,200 ton."
Resíduos da enchente de Porto Alegre vão para aterro em Gravataí (METRÓPOLE, 2024).	4,1 mil e 1,2 de toneladas de resíduos domiciliares.	Até 22/05, foram recolhidas 4,1 mil toneladas, além das usuais 1,2 toneladas de resíduo domiciliar rotineiro.	"No total, as enchentes atingiram 2,3 milhões de pessoas, segundo o mais recente boletim divulgado pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul, às 9h de hoje. Oitenta e duas seguem desaparecidas."
Volume de entulho de construção gerado no RS (GAUCHAZH, 2024).	46,7 milhões de toneladas.	2,4 mil toneladas de resíduos descartados pelos moradores, como sofás, colchões, armários e roupas.	"Das 38 mil toneladas de resíduos recolhidos na Capital, cerca de 3 mil já foram encaminhadas até a última etapa do processo, o que representa 7% do total."

Resíduos de enchentes: o perigo que se esconde nesse cenário (MEU RESÍDUO, 2024).	-	Os resíduos sólidos gerados em enchentes incluem restos de árvores, sedimentos, solo, resíduos domiciliares, resíduos da construção civil, produtos químicos industriais, resíduos recicláveis e eletrônicos.”	“Principais Doenças Associadas aos ResíduosdasEnchentes: Leptospirose, Diarreia, Febre, Tifoide Hepatite A.”
ONU: Cheias no Rio Grande do Sul geraram mais lixo do que a guerra em Gaza (BRASIL DE FATO, 2024).	47milhões de toneladas.	27.718 toneladas de resíduos das ruas, como restos de móveis danificados, raspagem de lodo acumulado e varrição.	“Moradores e empresas podem fazer o descarte de resíduos pós-enchentes em algum dos pontos Bota-Esperta. São áreas próximas das regiões inundadas, onde o DMLU descarrega os materiais recolhidos. Depois, os resíduos serão direcionados para o aterro de inertes em Gravataí.”
O que fazer? Qual o destino dos entulhos no Rio Grande do Sul (UOL NOTÍCIAS, 2024).	46,7 milhões de toneladas.	Comolama,lodo,RCC, galhos,árvores,metaise vidros, pisos, parede…	“*Como reciclar os restos de resíduos:* A população não deve misturar os resíduos. Os resíduos do desastre natural deverão ser enviados para locais licenciados. As áreas de armazenamento excepcionais de resíduos do desastre naturais.”
Enchentes no RS gerarão 46 milhões de toneladas de resíduos (R7, 2024).	46,7 milhões de toneladas.	Restos de resíduos domiciliares, casas e prédios que afundaram com a enchente.	“O maior impacto é registrado na sub-baciadoGravataí,com 17.580.000 milhões de toneladas de resíduos.”
Lixo gerado por cheia no Rio Grande do Sul chega a 47 milhões de toneladas. (G1, 2024)	47milhões de toneladas.	Resíduos domiciliares (vidro, metal, madeira, etc…) eletrodomésticos(TV, microondas,geladeiras, fogões, etc…)	“Na cidade de Canoas (RS) 7 mil residências foram afetadas. São 120 caminhões e 40 retroescavadeiras envolvidas diariamente na remoção do entulho.”

Enchentes: 47 milhões de toneladas de lixo no RS (METRÓPOLES, 2024).	47milhões de toneladas.	O lixo. Grandes estruturas (prédios e casas), móveis (cadeira, mesa, armário, sofá), equipamentos urbanos e industriais.	“A avaliação mostra um total de 400 mil estruturas inundadas no estado, até o dia 6 de maio de 2024. Das estruturas, 11% foram gravemente danificadas ou destruídas, e 42% deverão sofrer danos estruturais.”
O que os gaúchos devem fazer com quase 47 milhões de toneladas de entulho (EXAME, 2024).	47milhões de toneladas.	Material orgânico, descartes de todos os tipos, material pesado, leve, enfrentando perigos, como vidros quebrados, pregos e outros materiais.	“Desde 6 de maio, quando a limpeza começou a ser feita nos pontos de resgate, até a noite de domingo (2), foram retiradas 27.718 toneladas de resíduos das ruas, como restos de móveis estragados, raspagem de lodo acumulado e varrição.”
Especialista defende reciclagem para mitigar as toneladas de entulho geradas pela enchente (GAUCHAZH, 2024).	47milhões de toneladas.	5 milhões de toneladas provenientes de mobiliário e equipamentos industriais e 19 milhões de toneladas geradas a partir de edifícios.	“O estudo identificou ainda que cerca de 400 mil estruturas construídas foram inundadas no Rio Grande do Sul por causa do extremo climático.”
Lixo gerado nas enchentes do RS é maior do que o lixo produzido na guerra na Faixa de Gaza (OPC NEWS, 2024).	47milhões de toneladas.	Resíduosdomiciliares (madeira,vidro,metal…) construções, (prédios e casas).	“Pelo menos 400 mil construções em áreas urbanas e que o volume de entulho pode chegar a quase 47 milhões de toneladas.”
Enchentes espalharam toneladas de entulho no RS; descarte e doenças viram desafio (UOL NOTICIAS, 2024).	47milhões de toneladas.	Resíduosdomiciliares (madeira, vidro, metal…) construções, (prédios e casas), resíduos orgânicos…	“O lixo gerado nas enchentes do RS é maior do que o lixo produzido na guerra na Faixa de Gaza.”

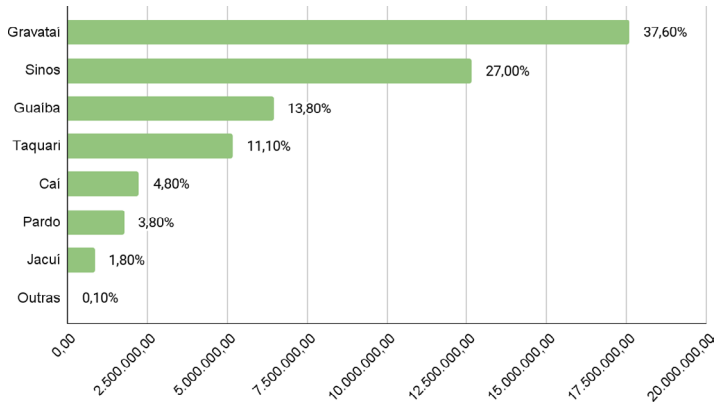
Em meio ao lixo das chuvas no RS, catadores nãoconseguem trabalhar (AMBIENTAL MERCANTIL, 2024).	46milhões de toneladas.	400 mil estruturas construídas foraminundadas, equipamentos industriais.	“Segundo a prefeitura, o aterro poderá receber de 77 mil a 180 mil toneladas de detritos. Será voltado a resíduos que não se decompõem, os quais poderão ser em parte reciclados ou reaproveitados.”

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

Evidencia-se pelas informações encontradas nas matérias veiculadas que o montante estimado de resíduos decorrente do evento que afetou o RS alcançou cerca de 47 milhões de toneladas contendo toda sorte de materiais que vão desde materiais minerais (solo, sedimentos), vegetação, resíduos domiciliares e edificações, resíduos de infraestrutura (pontes, estradas), equipamentos diversos de origem domiciliar, industrial, comercial e de atividades rurais, animais mortos, dentre outros, ou seja, todo material de origem antrópica, incluindo-se resíduos químicos com alto potencial de contaminação.

O objetivo desse quadro foi sistematizar e comparar os dados referentes aos resíduos resultantes das enchentes de 2024, permitindo uma análise aprofundada sobre sua composição e volume. A partir dessa avaliação, foi gerado a Figura 1 que representa a distribuição percentual de RCC nas sub-bacias hidrográficas, ademais é possível estabelecer conexões com o Quadro 2, que apresentou a legislação nacional vigente sobre a destinação adequada desses materiais.

Figura 1 – Percentual de RCC gerados após as enchentes de 2024 no RS.



Fonte: Organizado pelos autores (2025).

Quadro 2 – Resíduos gerados pelas enchentes e sua destinação segundo instrumentos legais, resolutivos e normativos no Brasil.

Tipo de resíduos	Destinação segundo instrumentos legais resolutivos e normativos
Mobiliário	**"Política Nacional de Resíduos Sólidos** **Art. 17.** Os sistemas de logística reversa serão estendidos, por meio da utilização dos instrumentos previstos no art. 15, a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando prioritariamente o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados. Parágrafo único. A definição dos produtos e embalagens a que se refere o caput deverá considerar a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, a ser aferida pelo comitê orientador."
Eletrodomésticos	**"Decreto Federal 10.240/2020. art 33 I –** dar destinação final ambientalmente adequada, preferencialmente para reciclagem, a cem por cento dos produtos eletroeletrônicos que forem recebidos pelo sistema."
Restos de árvores/ vegetação.	**"Art 36 lei N 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 V –** implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido."
Carro	**"Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 art 2 V –** resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada."
Pneus de carros inservíveis	**"Resolução CONAMA lei nº 416/2009 art 2** **VI –** destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis: procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.
Resíduos sólidos em casos de emergência	**"Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) art 3 XIV –** processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos
	ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa."

Equipamentos industriais	**"Resolução CONAMA nº 313/2002 art 3 –** As concessionárias de energia elétrica e empresas que possuam materiais e equipamentos contendo Bifenilas Policloradas – PCBs deverão apresentar ao órgão estadual de meio ambiente o inventário desses estoques, na forma e prazo a serem definidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA."
Óleos	**"Resolução CONAMA nº 362/2005 art 2 II –** Atividade de retirada do óleo usado ou contaminado do seu local de recolhimento e de transporte até à destinação ambientalmente adequada." **"art 2 XI –** processo de transformação do óleo lubrificante usado ou contaminado, tornando-o insumo destinado a outros processos produtivos."

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

As enchentes causam grandes impactos, como a destruição de residências e o manejo inadequado dos resíduos, agravado pelo acúmulo excessivo de água. A urgência na remoção dos resíduos pode levar a destinações emergenciais que, muitas vezes, tornam-se definitivas, nem sempre atendendo plenamente à legislação. Assim, destaca-se a importância do planejamento e de mecanismos adequados para minimizar os impactos, permitindo a futura recuperação e reciclagem de materiais, incluindo equipamentos domésticos e industriais.

Conclusão

As enchentes de maio de 2024 no RS geraram uma grande quantidade de resíduos, impactando o meio ambiente e exacerbando a contaminação dos recursos hídricos, além de evidenciar a ineficácia da gestão ambiental. A análise de 18 fontes jornalísticas indicou que o volume de RCC variou entre 46 e 47 milhões de toneladas, abrangendo resíduos domiciliares, industriais, rurais e escombros de construções e infraestrutura em geral. As sub-bacias dos rios Gravataí, Sinos e Guaíba foram as mais impactadas, com acúmulo de detritos que intensificaram os alagamentos e aumentaram o risco de doenças, como leptospirose e hepatite A.

A pesquisa sobre legislação ambiental mostrou que a destinação dos resíduos em aterros, adotada pelas gestões municipais frente a eventos adversos, pode gerar impactos ambientais se não for bem planejada. O acúmulo de óleos e gorduras nesses locais aumenta o risco de contaminação do solo, contrariando normas que recomendam o reaproveitamento desses materiais. O mesmo se aplica a pneus e resí-

duos industriais, cuja disposição inadequada pode causar novos danos ambientais. A má gestão dos aterros pode levar à superlotação e a deslizamentos, ampliando os prejuízos em áreas já afetadas pelas enchentes, podendo inclusive retornar aos territórios em situações futuras.

O trabalho desenvolvido insere-se em alguns objetivos do desenvolvimento sustentável:

1. ODS 6 – Água limpa e saneamento: As enchentes aumentaram a poluição da água, prejudicando o saneamento e o acesso a fontes seguras, o que reforça a importância de políticas para preservar e recuperar a qualidade dos recursos hídricos.
2. ODS 13 – Combate às alterações climáticas: O RS é fortemente influenciado por variações climáticas, como El Niño e La Niña, que alteram o regime de chuvas e impactam a incidência de enchentes e secas. O excesso de precipitação sobrecarregou o sistema de drenagem urbano e rural, provocando inundações severas. Esses fenômenos evidenciam a necessidade de estratégias de adaptação às mudanças climáticas e investimentos em infraestrutura resiliente.
3. ODS 14 – Vida na água: As enchentes causaram poluição hídrica, comprometendo ecossistemas, biodiversidade e qualidade dos habitats. O acúmulo de resíduos e substâncias tóxicas desequilibrou o meio ambiente, afetando fauna e flora. Isso reforça a necessidade de medidas para mitigar os impactos e aprofundar estudos que auxiliem na tomada de decisões.

Referências

ALESSI, P. **Enchentes no rio grande do sul devem deixar 46,7 milhões de toneladas de entulho em 2024.** Porto Alegre: Leouve. Disponível em: https://leouve.com.br/geral/enchentes-no-rio-grande-do-sul-devem-deixar-467-milhoes-de-toneladas-de-entulho/. Acesso em: 14 fev. 2025.

AMBIENTAL MERCANTIL. **Em meio ao lixo das chuvas no Rio Grande do Sul, catadores não conseguem trabalhar.** Ambiental Mercantil, 29 maio 2024. Disponível em: https://noticias.ambientalmercantil.com/2024/05/em-meio-ao-lixo-das-chuvas-no-rio-grande-d o-sul-catadores-nao-conseguem-trabalhar/#google_vignette. Acesso em: 17 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 147, p. 3-7, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 17 fev. 2025.

BRASIL DE FATO. **ONU: Cheias no Rio Grande do Sul geraram mais lixo do que a guerra em Gaza.** Brasil de Fato, 03 jun. 2024. Disponível em: https://www.brasildefato.com./ 2024/06/03/onu-cheias-no-rio-grande-do-sul-geraram-mais-lixo-do-que-a-guerra-em-gaza. Acesso em: 17 fev. 2025.

EXAME. **O que os gaúchos devem fazer com quase 47 milhões de toneladas de entulho.** Exame, 01 jun. 2024. Disponível em: https://exame.com/esg/o-que-os-gauchos-devem-fazer-com-quase-47-milhoes-de-toneladas-de-entulho/. Acesso em: 17 fev. 2025.

FERREIRA, F. **Ações humanas potencializam efeitos das chuvas e contribuem para alagamentos.** Florianõpolis: Governo Santa Catarina, 2019. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov./base-documental-rio-ararangua/noticias-rio-ararangua/item/6069-acoes-humanas-poten cializam-efeitos-das-chuvas-e-contribuem-para-alagamentos/6069-acoes-humanas-potencializam-efeitos-das-chuvas-e-contribuem-para-alagamentos. Acesso em: 17 fev. 2025.

G1. **Lixo gerado por cheia no Rio Grande do Sul chega a 47 milhões de toneladas.** G1, 02 jun. 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2024/06/02/lixo-gerado-por-cheia-no-rio-grande-do-sul-chega-a-47-milhoes-de-toneladas.ghtml. Acesso em: 17 fev. 2025.

G1, RS. **Apesar da trégua na chuva, quase 2,30 m acima da cota de inundação.** Rio Grande do Sul: G1, 06 maio 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia /2024/05/06/apesar-da-tregua-na-chuva-nivel-do-guaiba-segue-quase-230m-acima-da-cota-de-inu ndacao.ghtml. Acesso em: 17 fev. 2025.

GAUCHAZH. **Especialista defende reciclagem para mitigar as toneladas de entulho geradas pela enchente no RS.** GZH, 05 jun. 2024. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs. com.br/ambiente/noticia/2024/06/especialista-defende-reciclagem-para-mitigar-as-toneladas-de-entulho-geradas-pela-enchente-no-rs-clx0rp5a100gj015dtdxj7l68.html. Acesso em: 17 fev. 2025.

GAUCHAZH. **Volume de entulho de construção gerado no RS pelas enchentes pode chegar a 46 milhões de toneladas, mostra levantamento.** GZH, 22 maio 2024. Disponível em:https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2024/05/volume-de-entulho-de-construcao-gerado-no-rs-pelas-enchentes-pode-chegar-a-46-milhoes-de-toneladas-mostra-levanta mento-clwiakmnk00d1012wqliv6942.html. Acesso em: 17 fev. 2025.

JORNAL NACIONAL: **Características da bacia hidrográfica e relevo do RS explicam nível do Guaíba alto mesmo sem novas chuvas.** São Paulo: G1, 07 maio. 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/05/07/caracteristicas-da-bacia-hidrografica-e-relevo-do-rs-explicam-nivel-do-guaiba-alto-mesmo-sem-novas-chuvas.ghtml. Acesso em: 17 fev. 2025.

KIEVEL, C. **Poluição da água: entenda as causas, consequências e soluções.** São Paulo: Jardim Secreto, 2023. Disponível em: https://blogjardimsecreto.com.br/poluicao-da-agua/. Acesso em: 17 fev. 2025.

METRÓPOLES. **Enchentes: 47 milhões de toneladas de lixo no RS.** Metrópoles, 21 maio 2024. Disponível em: https://www.metropoles.com/brasil/enchentes-47-milhoes-toneladas-lixo- rs. Acesso em: 17 fev. 2025.

METRÓPOLES. **Resíduos da enchente de Porto Alegre vão para aterro em Gravataí. Metrópoles**, 22 maio 2024. Disponível em: https://www.metropoles.com/brasil/residuos-da

-enchente-de-porto-alegre-vao-para-aterro-em-gravatai. Acesso em: 17 fev. 2025.

MEU RESÍDUO. **Resíduos de enchentes: o perigo que se esconde nesse cenário.** Meu Resíduo, 09 maio 2024. Disponível em: https://www.meuresiduo.com/news/residuos-de- enchentes-o-perigo-que-se-esconde-nesse-cenario/. Acesso em: 17 fev. 2025.

OCP NEWS. **Lixo gerado nas enchentes do RS é maior do que o lixo produzido na guerra na Faixa de Gaza, diz pesquisa.** OCP News, 03 jun. 2024. Disponível em: https://ocp.news/entretenimento/lixo-gerado-nas-enchentes-do-rs-e-maior-do-que-o-lixo-produ zido-na-guerra-na-faixa-de-gaza-diz-pesquisa. Acesso em: 17 fev. 2025.

PEGORIM, J. **Entenda os fenômenos El Niño e La Niña.** Porto Alegre: Climatempo, 2024. Disponível em: https://www.climatempo.com.br/noticia/2023/10/21/entenda-os-fenomenos- el-nino-e-la-nina-2641. Acesso em: 17 fev. 2025.

PODER360. **Enchentes deixarão 46 milhões de toneladas de lixo no RS.** Poder360, 23 maio 2024. Disponível em: https://www.poder360.com.br/brasil/enchentes-deixarao-46-milhoes-de- toneladas-de-lixo-no-rs/. Acesso em: 17 fev. 2025.

R7. **Enchentes no Rio Grande do Sul gerarão 46 milhões de toneladas de resíduos, prevê universidade.** R7, 30 maio 2024. Disponível em: https://noticias.r7.com/cidades/enchentes-no-rio-grande-do-sul-gerarao-46-milhoes-de-toneladas-de-residuos-preve-universidade-30052024/. Acesso em: 17 fev. 2025.

SALLES, K. **Governo do RS teme impacto ambiental dos resíduos gerados pela enchente, 2024.** Santa Catarina: NSTtotal. Disponível em: https://www.nsctotal.com.br/noticias/governo- do-rs-teme-impacto-ambiental-dos-residuos-gerados-pela-enchente. Acesso em: 17 fev. 2025.

UOL NOTÍCIAS. **Enchentes espalharam 46 milhões de toneladas de entulho no RS; descarte e doenças viram desafio.** UOL, 23 maio 2024. Disponível em: https://noticias.uol. com./ultimas-noticias/agencia-estado/2024/05/23/enchentes-espalharam-46-milhoes-de-tonela das-de-entulho-no-rs-descarte-e-doencas-viram-desafio.htm. Acesso em: 17 fev. 2025.

UOL NOTÍCIAS. **O que fazer? Qual o destino dos entulhos no Rio Grande do Sul.** UOL, 31 maio 2024. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2024 /05/31/o-que-fazer-qual-o-destino-dos-entulhos-no-rio-grande-do-sul.htm?cmpid=copiaecola. Acesso em: 17 fev. 2025.

A salvaguarda do patrimônio cultural e natural no direito internacional

Sílvia Rafaela Scapin Nunes[1], Juliano Rodrigues Gimenez[2], Tiago Panizzon[3]
[123]Instituto de Saneamento Ambiental/Universidade de Caxias do Sul [1]srsnunes@ucs.br, [2]juliano.gimenez@ucs.br, [3]tpanizzo@ucs.br

Resumo: Esta pesquisa tem foco na proteção do patrimônio cultural no Direito Internacional no que refere aos ilícitos de escavações, roubo e tráfico de bens culturais, enquanto discute semelhanças do patrimônio natural no âmbito da biopirataria de flora e fauna. O problema de pesquisa envolve esclarecer em que medida o Direito Internacional pode ser capaz de proteger o patrimônio cultural e natural. Para tanto, a pesquisa procura identificar as características que envolvem os processos ilícitos, refletindo o alcance do Direito Internacional do patrimônio cultural na recuperação de bens culturais aos seus proprietários ou países originários. A pesquisa é epistemológica analítica-indutiva e metodologia empregada por meio de revisão de literatura específica. Os resultados demonstram que as estruturas internacionais são dispendiosas frente a articulação das redes de contrabando, tráfico e as redes criminosas transnacionais. Conclui-se que no caso dos bens culturais, a diplomacia, ainda figura como uma forma assertiva na criação da cultura de cooperação entre as nações, mas no caso de ilícitos de bens naturais, ações coercitivas são imperativas, uma vez que os impactos ambientais podem alcançar o desequilíbrio dos ecossistemas naturais.

Palavras-chave: Direito internacional do meio ambiente. Patrimônio cultural. Patrimônio natural. Contrabando. Biopirataria.

The safeguarding of cultural and natural heritage in international law

Abstract: This research focuses on the protection of cultural heritage in International Law with regard to the illegal excavations, theft and trafficking of cultural goods, while discussing similarities of natural heritage in the context of biopiracy of flora and fauna. The research problem involves clarifying to what extent International Law can be capable of protecting cultural and natural heritage. To this end, the research seeks to identify the characteristics that involve illegal processes, reflecting the scope of International Law of cultural heritage in the recovery of cultural goods to their owners or countries of origin. The research is analytical-inductive epistemological and the methodology employed is through a review of specific literature. The results demonstrate that international structures are costly in the face of the articulation of smuggling, trafficking and transnational criminal networks. It is concluded that in the case of cultural goods, diplomacy still appears as an assertive form in the creation of a culture of cooperation between nations, but in the case of illegal

acts of natural goods, coercive actions are imperative, since environmental impacts can lead to the imbalance of natural ecosystems.

Keywords: International environmental law. Cultural heritage. Natural heritage. Smuggling. Biopiracy.

Introdução

Ao redor do globo existe um tecido cultural nos países, que segundo a pesquisa de Janet Blake, compõem um acervo de bens culturais a serem protegidos, uma vez que se encontram sob ameaça de escavações ilícitas, roubo, exportação e comércio ilegal. Neste aspecto, o Direito Internacional emerge no sentido de promover uma estrutura legal que possa fazer frente à prevenção de ilícitos e consiga atuar na fiscalização do patrimônio cultural dos povos. Essa atuação, ocorre por meio da edição de documentos que definem princípios e regras de conduta comuns – acordadas entre os povos – e que, junto com as estruturas dos tribunais internacionais, influenciam a legislação dos países na proteção do patrimônio cultural.

Em 2025 a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) completam 54 anos de atuação na salvaguarda dos bens culturais através da luta contra o tráfico ilícito, devolução e restituição de bens culturais. Em paralelo, o tráfico de espécies de fauna e flora configuram crimes interligados que impactam a identidade cultural e ecológica das nações. Este artigo propõe um olhar crítico sobre a forma como ocorre a salvaguarda do patrimônio cultural no âmbito transnacional e entender se as estruturas consolidadas demonstram ser eficazes na proteção do patrimônio cultural dos países, bem como identificar as relações que podem ser estabelecidas no âmbito das redes de contrabando de arte, em relação aos conhecimentos tradicionais e a biopirataria de fauna e flora.

Metodologia

Esta é uma pesquisa analítica-indutiva de caráter exploratória. A orientação epistemológica, decorre do raciocínio científico que é construído a partir de um caso complexo – o roubo de patrimônio cultural –, de modo a ampliar o entendimento acerca dos conceitos que sustentam o tema proposto, enquanto aborda as semelhanças da apropriação indevida do patrimônio natural de fauna e flora. O método adotado

analítico-indutivo apresenta caráter qualitativo e exploratório, apoiado por revisão bibliográfica, textos científicos e jornalísticos específicos.

O patrimônio cultural no direito internacional

A expressão patrimônio cultural remete a uma conceituação bastante ampla e, dado às subjetividades inerentes aos aspectos simbólicos que representa, cabe uma breve visita dos significados atinentes ao tema, a fim de elucidar sentido aos elementos a serem tratados na abordagem deste trabalho. A salvaguarda do patrimônio cultural remonta aos eventos originados da Revolução Francesa no séc. XVIII, onde a destituição do clero pela comunidade sofrida e empobrecida refletiu na destruição radical e massiva de bens culturais. Para José Eduardo Ramos Rodrigues (2012), essa situação extrema levou a criação de uma Comissão de Monumentos que passou a identificar, por meio de inventário, os bens de valor excepcional de interesse cultural para a nação.

Segundo Ana Maria Moreira Marchesan (2007), a Cultura é o fruto da criação humana naquilo que pode ser valorado pelo homem no sentido antropológico (ex.: os saberes e fazeres e os artefatos, paisagem natural e fósseis petrificados, entre outros). Ademais dentre os Princípios Fundamentais, no art. 4º do Parágrafo único da Constituição brasileira tem-se que "A República Federativa do Brasil buscará a integração econômica, política, social e cultural dos povos da América Latina, visando à formação de uma comunidade latino-americana de nações."

Na Constituição Federal do Brasil, no Art. 2015 a Cultura figura como um direito fundamental a ser tutelado pelo Estado e pela sociedade de forma solidária, de modo que integra, de forma ampla, o direito fundamental ao Meio Ambiente ecologicamente equilibrado (Art. 225), permeando assim aspectos relacionais com o meio ambiente, a educação, o esporte e o lazer, bem como a preservação, controle e proteção dos ecossistemas de fauna, flora e os conhecimentos tradicionais.

Outrossim, os Art. 215 e 216 dispõem sobre o exercício dos direitos culturais e a caracterização do patrimônio cultural brasileiro (inc. I ao V), tal como:

> Art. 216. Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem:

> I – as formas de expressão; II – os modos de criar, fazer e viver; **III – as criações científicas, artísticas e tecnológicas;** IV – as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais; **V – os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico.** (grifo nosso)

Para o jurista Marcos Paulo de Souza Miranda (2020), no recorte da Cultura, especificamente, o Bem Cultural é o real objeto de proteção, ou seja, é a coisa sob a qual repousa uma percepção de valor (antropológico), conferindo assim um significado simbólico, material e/ou imaterial. Por conseguinte, o Patrimônio Cultural é aquele bem associado a um legado intergeracional e que precisa ser individualizado, portanto reconhecido por possuir valor cultural (Miranda, 2020). Assim, como bem de interesse público, ele é submetido a um regime jurídico especial (ex. Tombamento, Inventário e outras formas de acautelamento) Miranda, 2006). Em relação ao Direito Internacional, o patrimônio cultural envolve os exemplares da biodiversidade e elementos naturais paleontológicos, os bens associados à história, ciência e tecnologia dos povos, as escavações arqueológicas, os fragmentos de monumentos, as antiguidades e artefatos históricos, artísticos e/ou étnico e as obras de arte.

No que tange ao meio ambiente natural, a Lei Federal nº 9.605/1998 dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, contra o Ordenamento Urbano e o Patrimônio Cultural, bem como os crimes cometidos contra a fauna, flora, poluição e ainda à administração ambiental. No âmbito transnacional, esta Lei aborda a Cooperação Internacional para a Preservação do Meio Ambiente, reforçando o alerta do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente onde,

De acordo com o PNUMA, pelo menos 40% de todos os conflitos internos nos últimos 60 anos estão associados ao aproveitamento dos recursos naturais, sejam de alto valor como madeira, diamantes, ouro e petróleo, ou os escassos, como a terra fértil e água. (UNIC Rio, 2025)

Como se organiza o patrimônio cultural no direito internacional

Segundo Janet Blake (2015), importa salientar que no meio ambiente transnacional, os bens culturais são diretamente submetidos aos direitos de propriedade no aspecto nacional dos países, sendo vinculado

à cultura de cada nação e, ainda, no aspecto internacional, que remete ao patrimônio cultural da humanidade, por exemplo. Para tanto, a salvaguarda do patrimônio cultural envolve haver informações completas acerca das características e contexto dos bens culturais dos países. No Direito Internacional, a proteção do patrimônio cultural tende a versar sobre os direitos humanos, dado o seu caráter intergeracional associado e que envolve os países, os povos e, em última instância, os indivíduos. Conforme Blake (2015), os países das nações constituem uma espécie de mosaico, ao que ela define como uma rede de sítios arqueológicos, museus, coleções particulares que compõem um tecido cultural das nações. No que refere ao patrimônio natural, a biodiversidade dos países é única, caracterizando ecossistemas singulares e sensíveis ao sítio onde estão naturalmente inseridos.

A título de exemplo, o acervo do meio ambiente cultural do Brasil ocupa posição de destaque no cenário internacional, uma vez que possui um considerável acervo de bens culturais reconhecidos pela UNESCO (2020), sendo encontrados 22 dentre os 167 lugares relacionados como Patrimônio Mundial da Humanidade. São eles os Sítios do Patrimônio Natural, como as Ilhas Atlânticas Brasileiras: Reservas de Fernando de Noronha e Atol das Rocas e os Sítios do Patrimônio Cultural, como Conjunto Moderno da Pampulha; Sítio Arqueológico Cais do Valongo e Paraty e Ilha Grande.

Os atores que compõem este cenário internacional frente ao patrimônio cultural são as comunidades e proprietários de coleções, os museus e os sítios arqueológicos, entre outros. Por sua vez, Blake (2015) afirma que ao que tange aos processos ilícitos a que são acometidos os bens culturais dos países, configuram-se redes de atores contrabandistas (peixeiros e prática de pilhagem, museus e mercados de antiguidades e colecionadores) e as frentes de investigação e fiscalização, no caso do Brasil, estão a INTERPOL e a Polícia Federal, que mantém um banco de dados de bens culturais procurados no globo e, ainda, conta-se com a cooperação da UNESCO e do IPHAN.

A fragilidade jurídica inerente às dificuldades de recuperação dos bens também está relacionada a instrumentos internacionais que carecem de fiscalização e aplicação efetiva, especialmente em países com territórios amplos com o Brasil, Europa, EUA e Ásia. No caso da fauna e flora, os principais instrumentos internacionais são a Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas (CITES), a Convenção

sobre a Diversidade Biológica (CBD) e o Protocolo de Nagoya (2010). Ademais, o tráfico de espécies da fauna e flora e biopirataria também envolvem redes criminosas interligadas de exploração ilegal como ocorrem com o patrimônio cultural discutido neste trabalho.

A característica transnacional das redes de cooperação pressupõe estruturas internacionais que congregam os países signatários. Neste sentido, existem os Estados Parte, que tem na sua legislação a chancela dos acordos internacionais e, também, existem os Estados Não Parte, que não assinam estes acordos coletivos. Diametralmente, Blake (2015) aponta que em caso de transferência dos bens culturais e naturais, compreende os Estados que são exportadores (Estados de origem), os Estados que são importadores (Estados de mercado) e, ainda, os Estados de transição (Estados terceiros). Em resumo, é possível desenhar um caminho que envolve os países de origem (Estados exportadores), que são os países nativos destes acervos, e os países de mercado (Estados importadores), que são os lugares que tem interesse nestes acervos culturais e naturais, ou seja, são os países que geram demanda por determinados bens ou artefatos. Ocorre que entre a origem e o mercado, existem países (Estados de transição) que atuam na facilitação dessas transferências (Blake, 2015).

Blake (2015) chama atenção para um dado da UNESCO de que o mercado de obras de arte movimentou cerca de US$ 6 bilhões em 2013. Assim, resta evidente a importância da regulamentação da comercialização destes artefatos. Contudo, a autora afirma que existe um lado menos nobre neste tipo de mercado que é o contrabando e tráfico de obras de arte e que acabam por revelar um dilema moral associado, expostos nos processos em casos de litígios em processos desta natureza (Blake, 2015). O World Wildlife Crime Report 2024 das Nações Unidas estimou um movimento de US$ 17 milhões para o tráfico de animais.

No processo ilícito, o percurso das transferências dos bens culturais entre países envolve uma rede formada entre Estados fornecedores e Estados receptores. O processo de transferência envolve estruturas que se organizam em torno de uma rede formada por processos intermediários de tráfico, onde os bens culturais oriundo de roubo tem sua ilegalidade camuflada (lavados), facilitando a circulação ilegal dos artefatos e obras de arte (Blake, 2015). Na área ambiental, o Relatório da Rede Nacional de Combate ao Tráfico de Animais Silvestres (RENCTAS, 2024) sistematiza as principais rotas terrestres e aéreas

monitoradas no Brasil. A caracterização jurídica do tráfico de animais abrange a formação de quadrilha, descaminho, receptação e lavagem (crime contra a Fazenda Nacional – falsificação de notas fiscais para legitimação da posse ilegal de espécime silvestre. São ainda relacionados o tráfico para fins de caça de subsistência (alimentação familiar), iguarias culinárias feitas de carne de animais silvestres, fabricação de matéria-prima para decoração e "arte" (quadros) e moda (casacos de pele) e/ou para fins de rituais religiosos.

Mecanismos ilícitos dos crimes no âmbito internacional

Assim como as obras de arte são roubadas para colecionadores privados, museus e leiloeiros, o tráfico de animais, plantas e material genético atendem a um mercado ilícito de zoológicos, laboratórios farmacêuticos, colecionadores de espécies exóticas e práticas medicinais. Nesse sentido, ocorre a exploração de recursos genéticos e conhecimentos tradicionais para fins comerciais, sem controle e/ou repartição de benefícios para as comunidades tradicionais. São alvo das práticas ilícitas exemplares da flora, as orquídeas raras da Amazônia e o pau-brasil, e da fauna, a onça-pintada e os anfíbios tropicais, utilizados em pesquisas farmacêuticas.

Uma vez que bens culturais são caracterizados por valores como originalidade ou singularidade, acabam por gerar demanda por consumo (cultural), demonstrando a existência de uma importante relação econômica envolvida. Assim, nos países de origem, os artefatos culturais são oriundos de localidades normalmente empobrecidas, cujas condições de extrema pobreza, induzem a pilhagem de bens culturais para o sustento de suas famílias. Nesse sentido, Blake (2015) afirma que os principais Estados exportadores são a África, Afeganistão e América do Sul, ao passo que os principais Estados importadores são os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão e Suíça. No caso dos bens naturais, a singularidade inerente da biodiversidade que é alvo do tráfico abrange a coleção de animais silvestres ou a exploração para a produção de ativos beneficiados de plantas especiais.

Cumpre ressaltar que os métodos de contrabando dos bens culturais e naturais de fauna e flora para a venda ilegal de exemplares e artefatos guardam bastante semelhanças. Tomando-se como referência os bens culturais, Blake (2015) traz casos de escavações ilícitas, roubo e tráfico de antiguidades, como no processo de transferência de bens

culturais que tem como país de origem o Afeganistão, que é um país que se vale de artefatos obtidos de escavações ilícitas. Estes artefatos podem assumir uma rota via Paquistão e depois chegar, via cidades fronteiriças, aos Emirados Árabes como porta de entrada para a Europa, para então chegar nas estações de controle como a Alfândega e, então, seguir caminho aos países de mercado, como o Reino Unido, Bélgica ou seguir para os Estados Unidos (Blake, 2015).

No caso do Afeganistão, resta evidente este tipo de ilícito aproveita-se de ocasiões de instabilidades políticas, onde o contrabando de bens culturais acaba por ser combinado com o tráfico de narcóticos, por exemplo (Blake, 2015). Também somam formas de contrabando e tráfico de obras culturais, os espaços de vendas on-line, decorrente da privacidade com a qual ocorrem e, ainda, os eventos de leilões, onde grandes volumes de artefatos são vendidos a preços módicos, eventualmente sem comprovação de origem formalmente legalizada (Blake, 2015). Este aspecto contribui para a formação de redes de contrabando, tráfico e, até mesmo, terrorismo, em operações que envolvem lavagem de dinheiro e de obras de arte, além do comércio ilícito, como tráfico de pessoas e armas, financiamento do crime e contrabando de espécies da biodiversidade, minerais e pedras preciosas (Blake, 2015). Nesse sentido, além do sequestro de bens culturais, por vezes, o uso de vantagens de imunidade diplomática também constitui recurso de uma rede de contrabando (Blake, 2015). No caso, as redes de tráfico de bens culturais assumem compatibilidade com as redes de tráfico de entorpecentes e armas.

No mercado ilícito de bens culturais, existe um mercado seleto, mas um elevado número de fornecedores disponíveis ao redor do globo, portanto mais fácil de ser rastreado. Por sua vez, as redes de tráfico de armas e entorpecentes, segue um caminho inverso, apresentando um mercado praticamente ilimitado de opções, porém um baixo contingente de fornecedores. Aqui, a lógica envolvida está na combinação destes agentes no processo, associado às fragilidades das instituições de tutela e regulamentação acerca dos bens culturais (Blake, 2015).

Em todo caso, as estratégias de contrabando de fauna, flora e patrimônio genético assumem perfis semelhantes, como (i) roubo e pilhagem, (ii) falsificação e lavagem de procedência e (iii) fornecimento para o mercado elitizado – a exemplo de peles de animais raros, tráfico de marfim e chifres de rinocerontes e extração de espécies botânicas

raras por grupos terroristas e milícias. Stassart, Cardoso e Morgado (2024) alerta que existem mecanismos sofisticados de corrupção, fraudes, lavagem de dinheiro e animais traficados.

Instrumentos internacionais de salvaguarda

A partir das redes de contrabando e tráfico que se formam para a usurpação de bens culturais, os países acabam por não conseguir realizar a fiscalização de proteção desses artefatos e obras de arte de forma eficaz. Por isso, considerando o aspecto global das nações e a garantia dos direitos culturais e direitos humanos, existem estruturas importantes que atuam nesta seara.

De acordo com o apontado por Blake (2015), isto ocorre com mais evidência em países economicamente pobres, que na maioria das vezes, possuem um amplo acervo de bens culturais, cuja relevância histórica se destaca, passando a ser alvo de um comércio ilegal, porém muito lucrativo. Nesse aspecto, ganha destaque a importância de uma estrutura legal que venha a fazer frente à ameaça iminente do comércio ilegal de bens culturais. Assim, a existência de uma estrutura jurídica internacional é fundamental para atuação no meio ambiente cultural dos países.

Na busca de formas de controle das transferências ilícitas de bens culturais entre países, Blake elenca as formas básicas de salvaguarda pelos países, tais como:

- Controle de Importações e declaração de propriedade de seu acervo;
- Inventário dos bens protegidos;
- Regulamentação do Mercado Interno e banco de dados de bens procurados;
- Código de Ética dos Museus e Institutos e aplicação da legislação internacional;
- Policiamento internacional em nível local.

Na seara do combate às escavações ilícitas, roubo e tráfico de artefatos culturais frente às estruturas de fiscalização para a proteção do patrimônio cultural das nações, a abordagem de cooperação e concertação entre as nações tem se mostrado eficaz. De acordo com Rodrigues (2012) existem importantes tratados da comunidade internacional que estabelecem acordos formais entre sujeitos de direito internacional pú-

blico e regulam esse tema, sendo as mais importantes a Convenção da UNESCO de 1970 e a Convenção UNIDROIT de 1955.

Em todo caso, os documentos resultantes desses encontros tratam da cooperação para a restituição ou devolução dos bens culturais, procurando evitar disputas judiciais que tendem a se estender sobremaneira no tempo, por conseguinte, sendo prejudiciais ao processo como um todo. São alguns documentos importantes apontados por Blake (2015):

- Convenção de Haia da UNESCO sobre a Proteção de Bens Culturais em Caso de Conflito Armado (1954)
- Convenção UNIDROIT (1955) – promove uma abordagem compassiva nos processos de litígio na forma da boa-fé frente aos sistemas jurídicos, interesses e partes interessadas;
- Convenção da UNESCO (1970) – esforço "concertado", que atua na prevenção do ato ilícito através de procedimentos administrativos e diplomáticos, mas protege apenas os bens reconhecidos (inventariados) e certificados;
- Convenção da ONU (2000), a Convenção de Palermo – Convenção da ONU contra o Crime Organizado Transnacional.

São implicações na atuação do Direito Internacional os litígios que envolvem a recuperação de propriedade cultural alcançam, os indivíduos e os Estados, tanto para a geração que são atores livres e legítimos para iniciar ações civis para a restituição (retorno) de bens culturais roubados e/ou exportados ilegalmente (Blake, 2015). Segundo Blake (2015), os problemas enfrentados são de natureza complexa para o Direito do Patrimônio Cultural, mesclando aspectos do direito internacional privado e o direito internacional público, portanto, são submetidas a legislação *lex situs* dos locais de origem e de destino, o que tendem a culminar no conflito de leis entre os Estados, limitações de jurisdição transnacional, bem como no alcance da eficácia das normas frente à Diplomacia. Concorrem ainda como problemas a serem superados, casos em que a legislação do local do litígio do bem cultural seja dissonante da legislação onde o bem teve a última transação ilícita (Blake, 2015).

Considerações finais

Diametralmente aos instrumentos de controle utilizados no Direito Internacional frente às escavações ilícitas, roubo e tráfico de obras de arte, existem implicações transversais. Nesse segmento, a via diplomática tem sido ferramenta importante na defesa dos proprietários originários dos bens culturais que são objeto de processos ilícitos, uma vez que os acordos entre as partes tendem a surtir resultados assertivos para as partes interessadas, apresentando melhor eficácia para a estabilização de conflitos complexos, uma vez que demandam-se provas da origem dos artefatos, bem como o tempo dos litígios e os custos envolvidos em processos judiciais dessa natureza (Blake, 2015). Nesse sentido, a via da diplomacia aposta na conduta ética e na cooperação como eficazes para arbitragem, medicação e conciliação entre as partes. Contudo, os resultados não são vinculativos entre os Estados Parte (Blake, 2015).

Dado isto, seria possível afirmar que quando da recuperação de bens culturais, haveria percepção real de ganho, tendo em vista que as condições em que se encontram as antiguidades em posse de museus com ampla infraestrutura ou a tutela de colecionadores, seriam mais adequadas para a conservação dos bens, do que as condições junto aos proprietários ou países de origem sem espaço e/ou equipe para a adequada acomodação do acervo.

Contudo, no caso da remoção de espécies naturais, os danos podem levar ao desequilíbrio ecológico, à extinção de espécies locais e o enfraquecimento da biodiversidade, além de comprometer potenciais inovações farmacêuticas e científicas dos países de origem. A proteção ambiental apresenta um escopo mais amplo do que a proteção do patrimônio cultural baseada em convenções, princípios e diplomacia. A legislação ambiental apresenta um arcabouço normativo internacional vinculante mais estruturado para o monitoramento do tráfico ilegal de espécies e imposição de embargos, bem como responsabilização civil e penal. É preciso que os órgãos ambientais envolvidos no manejo de fauna e flora possuam recursos para o cumprimento de suas atribuições de salvaguarda, bem como seja elaborada uma estratégia nacional eficaz de combate ao tráfico de fauna silvestre, impulsionando o potencial de transformação digital e transparência dos órgãos de controle e instrumentos antilavagem, bem como sejam aprimoradas a responsabilização

penal e administrativa de traficantes de forma exemplar (Stassart, Cardoso e Morgado, 2024).

O roubo de obras de arte, o tráfico de fauna e flora e a biopirataria fazem parte de um sistema global de exploração de recursos, uma vez que são crimes interligados por sua relação com a exploração ilegal do patrimônio cultural e natural que impactam a identidade cultural e ecológica das nações e o desequilíbrio dos ecossistemas sensíveis. A proteção do patrimônio ambiental – natural e construído – exige esforços colaborativos, maior fiscalização e a devida compensação das partes lesadas e a implementação de mecanismos eficazes de devolução e salvaguarda dos bens do patrimônio cultural e natural das nações.

Referências

BLAKE, Janet. ***International Cultural Heritage Law***. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. p. 23-69.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 25 jan.2025.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 17 abr. 2025.

MARCHESAN, Ana Maria Moreira. **A tutela do patrimônio cultural sob o enfoque do direito ambiental.** Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2007.

MIRANDA, Marcos Paulo de Souza. **A tutela do patrimônio cultural brasileiro**. Belo Horizonte: Del Rey, 2006.

MIRANDA, Marcos Paulo de Souza. **Patrimônio cultural e a função memorativa da propriedade na ótica do STJ**. Ambiente Jurídico. set. 2019. [2019]. Disponível em: https://www.conjur.com.br/2019-set-21/patrimonio-cultural-funcao-memorativa-propriedade- stj. Acesso em: 01 fev. 2025.

MIRANDA, Marcos Paulo de Souza. Os instrumentos de proteção ao patrimônio cultural material. In: **1º Curso de Direito do Patrimônio Cultural. Instituto** O Direito por Um Planeta Verde. 30 nov. à 1º dez. 2020. [2020a]. Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PLJx51746d6kSoI5BlAWJ6FzJr3pQ4J1pe. Acesso em: 17 jan. 2021 (notas de aula)

RODRIGUES, José Eduardo Ramos. O patrimônio cultural nos documentos internacionais. In: RODRIGUES, José Eduardo Ramos; MIRANDA, Marcos Paulo de Souza. **Estudos de direito do patrimônio cultural**. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

STASSART, J. S.; CARDOSO JR., D.; MORGADO, R. **A lavanderia de fauna silvestre: como riscos de fraude, corrupção e lavagem viabilizam o tráfico de**

vida silvestre. Transparência Internacional – Brasil, 2024. E-book. Disponível em: https://transparenciainternacional.org.br/publicacoes/a-lavanderia-de-fauna-silvestre/. Acesso em 16 abr. 2025.

UNESCO. P**atrimônio Mundial no Brasil**. Disponível em: http://www.unesco.org/new/pt/ brasilia/culture/world-heritage/list-of-world-heritage-in-brazil/. Acesso em: 01 set. 2021.

UNITED NATIONS INFORMATION CENTRES. UNIC Rio. **ONU apoia operação global da Interpol contra redes criminosas de ameaça à vida selvagem**. Disponível em: https://unicrio.org.br/onu-apoia-operacao-global-da-interpol-contra-redes-criminosas-de-ameaca-a-vida-selvagem/#content. Acesso em 26 fev. 2025.

UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME. ***World Wildlife Crime Report 2024: Trafficking in Protected Species*****.** Vienna: United Nations publications, 2024. Disponível em: https://www.unodc.org/documents/data-and- analysis/wildlife/2024/Wildlife2024_Final.pdf. Acesso em 16 abr. 2025.

Detecção de módulos fotovoltaicos em imagens aéreas utilizando redes neurais convolucionais

Vinícius Alex Dal Magro Peruzzo[1], Tiago Cassol Severo[1]
[1]*Universidade de Caxias do Sul (tcsevero@ucs.br)*

Resumo: Com a RN 482 e a Lei 14.300, que oportunizam a instalação de energia solar para geração de energia elétrica por clientes cativos, tem crescido a demanda por operação, inspeção e manutenção dos sistemas fotovoltaicos instalados. A inspeção periódica contribui de forma direta para uma melhor manutenção e operação do sistema, onde há ganhos reais na geração de energia elétrica gerada quando identificado previamente e rapidamente os pontos de baixa geração. Assim, este artigo propõe um método automatizado de detecção de módulos solares baseado em imagens aéreas de usinas fotovoltaicas utilizando redes neurais convolucionais, visando assim reduzir o tempo de operação deste serviço e manter a geração de energia. Este método envolveu a criação de um banco de dados com mais de 6.200 módulos, identificados e anotados, a partir de imagens aéreas de diversas usinas solares. As imagens passaram por um pré-processamento e aumento no volume de dados, gerando mais 3.533 imagens para treinamento da rede neural. Assim, uma arquitetura de processamento de imagens é apresentada para detectar estes módulos de forma automática. Na validação da rede, o algoritmo foi testado obtendo uma precisão média de 85,8%. Os resultados da arquitetura Faster R-CNN foram obtidos após um treinamento com mais de 100.000 iterações, o que demonstra o potencial desta abordagem para aprimorar a eficiência das usinas fotovoltaicas.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Rede Neural, Visão Computacional.

Detection of Photovoltaic Modules in Aerial Images Using Convolutional Neural Network

Abstract: With the current regulations of the Brazilian energy sector, which enable the installation of solar energy systems for electricity generation by captive consumers, the demand for the operation, inspection, and maintenance of installed photovoltaic systems has grown. Manual inspection of these systems is time-consuming and poses risks to operators, especially due to the height of installations and access complexity. This article proposes an automated method for detecting solar modules based on aerial images of photovoltaic plants using convolutional neural networks, aiming to reduce operation time and maintenance risks. This method involved the creation of a database with over 6,200 photovoltaic modules identified and annotated from aerial images of various solar plants. The images underwent preprocessing and data augmentation, generating an added 3,533 images for training the neural network model.

Thus, an image processing architecture is presented to automatically detect these photovoltaic modules. During validation, the algorithm was assessed on new images not used in training, achieving an average precision of 85.8%. The results of the Faster R-CNN architecture were obtained after a training process involving over 100,000 iterations, proving the potential of this approach to enhance the efficiency and safety of photovoltaic plant inspections.

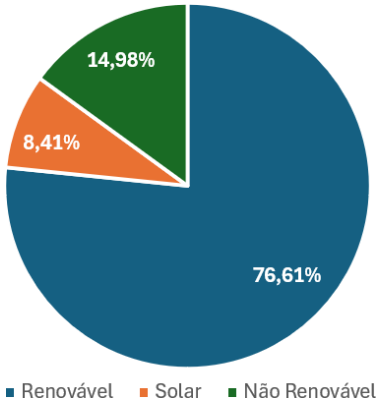
Key words: Photovoltaic Solar Energia, Neural Networking, Computational Vision.

Sobre o mercado solar e a manutenção de usinas

A crescente adoção de fontes renováveis de energia é impulsionada pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. O Acordo de Paris, firmado em 2016, reforçou o compromisso global com a transição energética, estimulando pesquisas sobre estratégias ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis para esse processo.

Nesse contexto, a geração de energia solar tem se expandido significativamente. No Brasil, até final de 2024, a energia solar fotovoltaica já representava 8,41% da matriz energética ou 52 GW de potência instalada, onde 70%, aproximadamente, corresponde à micro e minigeração distribuída no mercado cativo, enquanto os 30% restantes referem-se à geração centralizada direcionada ao mercado livre. Esse crescimento foi viabilizado pela regulamentação RN482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2012, e reforçada e ampliada pela Lei 14.300 – Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída que impulsionou a criação de um mercado solar sólido e posterior nascimento de um mercado secundário de inspeção e manutenção destes sistemas fotovoltaicos com o objetivo de manter a geração de energia adequada dos sistemas (ANEEL, 2025). Conforme Figura 1 observa-se a distribuição do mercado de disponibilidade de geração elétrica no Brasil.

Figura 1 – Distribuição do Mercado de Geração de Energia



Fonte: ANEEL (2025)

Além de manter a geração de energia elétrica, essa inspeção e manutenção envolve riscos significativos, como trabalho em altura, exposição à alta tensão e possibilidade de desabamento, além de demandar um tempo considerável, deslocamento de mão de obra qualificada e custos. A inspeção periódica dos módulos fotovoltaicos é essencial para garantir a geração de energia e prolongar a vida útil dos equipamentos, evitando perdas na geração de energia causadas pelo acúmulo de sujeira e falhas nos sistemas. No entanto, os métodos convencionais de inspeção são onerosos e demandam longos prazos de execução. Em sistemas de grande porte, como usinas na casa de MW, o processo pode levar até 60 dias com altos custos de operação.

Para contornas tais problemas, a utilização de imagens aéreas e algoritmos de detecção de módulos fotovoltaicos possibilita uma inspeção mais segura, eliminando a exposição dos trabalhadores a condições adversas. Além disso, a automação desse processo melhora a eficiência do serviço, reduz custos operacionais e garante maior qualidade no serviço prestado, beneficiando tanto as empresas do setor quanto os investidores e consumidores (Peruzzo, 2022).

Para otimizar esse processo, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um algoritmo de detecção e processamento de imagens capaz de identificar módulos fotovoltaicos em imagens aéreas de usinas solares, utilizando rede neurais convolucionais, visando uma inspeção mais segura e efetiva para os operadores. Para isso, foram estabelecidos objetivos que incluem a criação de um banco de dados contendo imagens das usinas, a delimitação precisa da posição de cada

módulo em imagens aéreas filtradas, o treinamento de uma rede neural até a convergência e a validação da performance com base de comparação na literatura científica, visando aumentar a precisão e identificação dos módulos solares.

Caracterizando a instalação de uma usina fotovoltaica e os principais problemas

Uma usina solar é caracterizada pela instalação de módulos solares em telhados ou no solo, de maneira fixa ou móvel com a orientação que otimize o maior tempo de exposição aos raios solares. Esses módulos são conectados com cabos e conectores próprios, com alta resistências a intempéries e longa durabilidade. Tais cabos oriundos dos módulos solares vão ao encontro dos inversores solares que convertem a tensão e corrente elétrica contínua gerada pelos módulos à alternada, padrão utilizado pela rede elétrica de distribuição brasileira, e que viabiliza o uso simultâneo ou compartilhado da energia gerada a partir da regulamentação da ANEEL.

Quando os módulos solares são fixados em telhados ou no solo, , conforme Figura 2, são utilizadas estruturas apropriadas, considerando a localização do sistema para otimizar a geração de energia elétrica. A inclinação de usinas residenciais deve seguir a latitude do local de instalação com um mínimo de 10° em relação ao solo para evitar o acúmulo excessivo de sujeira e poeira (Villalva & Gazoli, 2012).

Figura 2 – Módulos solares instalados em estruturas voltadas ao solo.



Fonte: Peruzzo, 2022.

Mesmo assim, a escolha do local de instalação exige cuidados específicos. Em telhados, é essencial avaliar o tipo de cobertura e a capacidade estrutural para evitar riscos de colapso. Além disso, ajustes

adicionais de inclinação não são recomendados para evitar sobrecarga. No solo, a instalação requer estruturas de suporte resistentes e bem posicionadas para maximizar a captação solar. Esses fatores influenciam diretamente o desempenho e a durabilidade do sistema, destacando a importância de um planejamento adequado para assegurar sua eficiência operacional.

A degradação dos módulos fotovoltaicos ocorre devido a diversos fatores que reduzem sua eficiência ao longo do tempo, com perdas anuais estimadas entre 1% e 2%. Os principais problemas incluem o acúmulo de sujeira, que pode diminuir a geração em até 7% ao ano, e a descoloração do encapsulante, reduzindo a absorção da radiação solar. Além disso, há a degradação das células devido à corrosão e separação dos contatos, curtos-circuitos e rachaduras provocadas por estresse térmico ou impactos.

Outros fatores incluem falhas nas soldas e conexões elétricas, envelhecimento da estrutura do módulo, curto-circuito decorrentes de defeitos de fabricação ou corrosão eletroquímica, fratura do vidro por impactos, formação de *hotspots* em células danificadas, falha dos diodos por sobrecarga térmica e exaustão do encapsulante devido à degradação dos estabilizadores UV. Esses problemas comprometem a durabilidade e o desempenho dos módulos, destacando assim a importância de inspeções e manutenção adequadas para prolongar a vida útil (Villalva & Gazoli, 2012).

A visão computacional e a rede neural

A visão computacional tem como objetivo extrair informações úteis de imagens, permitindo a tomada de decisões com base na análise de objetos e suas características, como forma, iluminação e distribuição de cores. Para isso, algoritmos de aprendizado são empregados para transformar essas características em informações relevantes, como na identificação de usinas e módulos solares. O processamento de imagens digitais envolve etapas como aquisição, filtragem e pré-processamento. A aquisição pode ser realizada por câmeras de alta definição, enquanto a filtragem e o pré-processamento corrigem imperfeições e realçam parâmetros essenciais para a extração de características, como cor, forma e textura. No entanto, esse processo é complexo e demanda ferramentas avançadas para otimizar o tratamento das imagens (Bozic-Stulic, 2018).

O aprendizado profundo (Deep Learning), um subcampo do aprendizado de máquina, utiliza múltiplas camadas de processamento para extrair, transformar e analisar padrões em imagens. Essa técnica tem sido amplamente aplicada em reconhecimento facial, detecção de objetos, processamento de linguagem e robótica, permitindo capturar informações de alto nível com maior precisão. As Redes Neurais Artificiais (RNAs), inspiradas no funcionamento do cérebro humano, organizam neurônios artificiais em camadas interconectadas. Cada neurônio processa entradas, aplica pesos, soma os valores e utiliza uma função de ativação para gerar saídas. As RNAs aprendem por meio da modulação das conexões entre neurônios, executando tarefas complexas como reconhecimento de padrões e previsão de dados, essenciais para identificar módulos fotovoltaicos em usinas solares.

Dentre as arquiteturas de RNAs, as Redes Neurais Convolucionais (RNCs) destacam-se no processamento de imagens e reconhecimento de padrões visuais. A convolução, uma operação matemática, aplica filtros sobre a imagem para destacar características como contornos e texturas, gerando mapas de características que preservam relações espaciais entre os pixels. As RNCs são amplamente utilizadas em classificação de imagens, detecção de objetos e reconhecimento facial, sendo fundamentais para avanços em visão computacional (Cardinale-Villalobos et al, 2020). Com essas abordagens, a capacidade de interpretar imagens e extrair informações relevantes tem impulsionado aplicações inovadoras em áreas como saúde, segurança, automação e inteligência artificial.

Metodologia de aquisição e caracterização de imagens

Foram capturadas 141 imagens aéreas de usinas fotovoltaicas utilizando um drone DJI Mavic Air 2 na região da Serra Gaúcha, compreendendo as cidades de Bento Gonçalves, Vila Flores e Farroupilha. As imagens foram obtidas com uma inclinação de 90° em relação ao solo, garantindo a visibilidade completa dos módulos. As capturas foram realizadas em dias ensolarados, entre 9h e 17h, para garantir condições ideais de iluminação, como nos exemplos indicados na Figura 3.

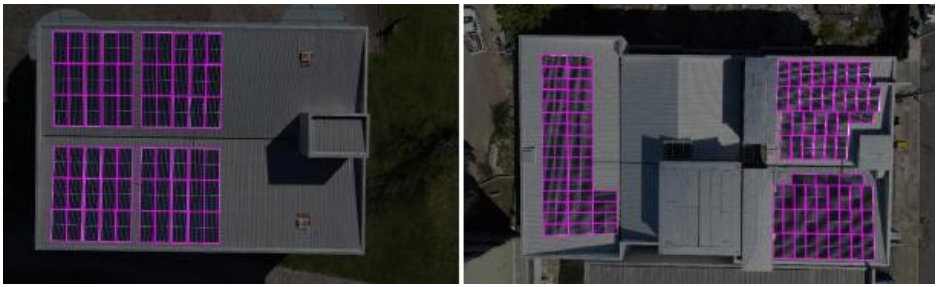
Figura 3 – Exemplo de imagens de sistemas fotovoltaicos instalados em usinas de teto.



Fonte: Peruzzo, 2022.

Após a aquisição, as imagens foram anotadas manualmente utilizando a plataforma RoboFlow. Cada módulo fotovoltaico foi delimitado por uma caixa retangular, totalizando 6.228 módulos anotados. A Figura 4 mostra dois exemplos retirados do conjunto, neles é possível perceber que em roxo estão delimitados todos os módulos contidos nessas imagens, esta etapa foi realizada para todas as imagens obtidas. Essas anotações foram armazenadas em arquivos que contêm as coordenadas dos módulos em pixels.

Figura 4 – Exemplo de imagens de sistemas fotovoltaicos instalados em usinas de teto.



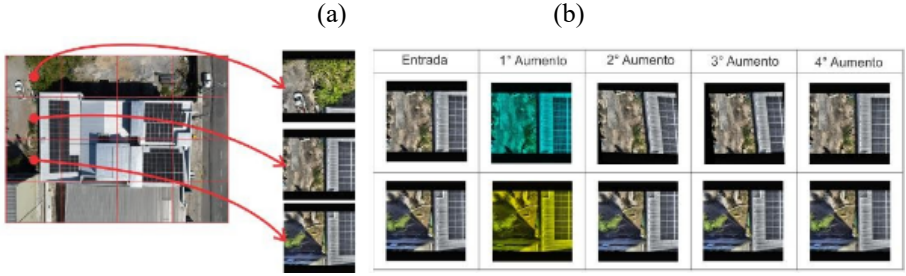
Fonte: Peruzzo, 2022.

As imagens foram recortadas em 16 partes iguais cada uma, conforme a Figura 5, resultando em

2.256 imagens trabalhadas. Em seguida, foi aplicada uma técnica de aumento de dados, que incluiu modificações de cor, brilho, contraste, escala e orientação. O conjunto final contou com 3.533 imagens, divididas em conjuntos de treinamento (2.274 imagens), validação (750 imagens) e teste (509 imagens). A arquitetura Faster R-CNN foi esco-

lhida para o treinamento, utilizando a biblioteca Detectron2 e revisão da literatura (Ren. et al, 2015); (Pham et al, 2020).

Figura 5. (a) Demonstração do pré-processamento aplicado e (b) técnica de aumento das imagens.



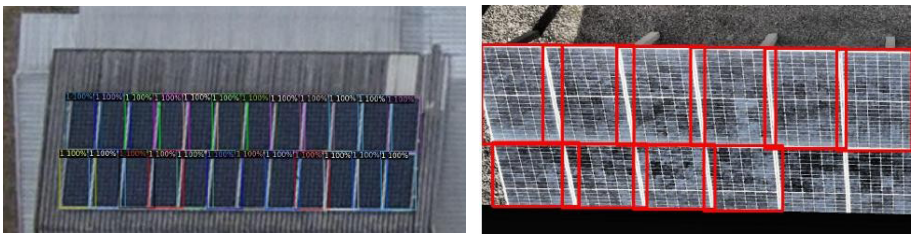
Fonte: Peruzzo, 2022.

O treinamento foi realizado por 100.000 iterações, com um batch size de 2 que é considerado um parâmetro relevante no treinamento de modelos de aprendizado de máquina e a escolha pode impactar a eficiência e a qualidade do treinamento. Assim, a rede foi treinada em uma GPU de alto desempenho, com um tempo total de treinamento de 5 horas e 7 minutos. Durante treinamento, foram monitoradas métricas como a acurácia de classificação (*Cls-Accuracy*), a taxa de falsos negativos (*Fal-negative*) e o erro na localização das caixas delimitadoras (*Loss-box-reg*) conforme as referências mais trabalhadas neste trabalho (He & Zhang, 2020); (Cardinale-Villalobos et al, 2020). A Figura 6 (a) mostra o resultado de detecção da arquitetura ao fim do treinamento, onde cada módulo detectado é delimitado por uma caixa retangular (*Loss-box-reg*) com o valor percentual de acurácia (*Cls-Accuracy*) em cima das caixas.

Já na Figura 6 (b) mostra um exemplo para esta métrica, onde a imagem foi gerada pela própria arquitetura durante o treinamento e os módulos solares são reconhecidos em vermelho. Na mesma Figura 6 (b), no canto inferior direito é possível observar dois módulos que não estão delimitados. Eles são considerados falsos negativos (*Fal-negative*), pois deveriam ter sido detectados e classificados como verdadeiros. Com isso, se a detecção dos módulos solares tiver com um erro significativo na localização das áreas de interesse, a etapa de classificação ficaria prejudicada e o valor alcançado ao fim do treinamento não seria satisfatório.

Figura 6. (a) Demonstração do pré-processamento aplicado e (b) técnica de aumento das imagens.

(a)(b)



Fonte: Peruzzo, 2022.

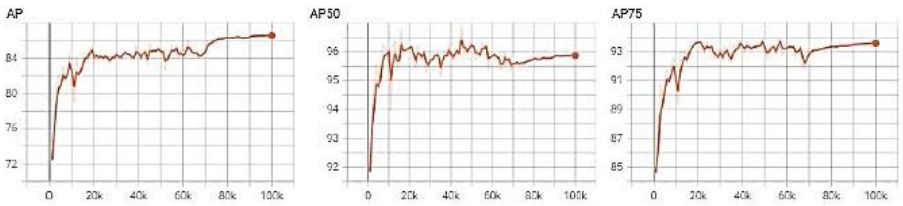
Resultados

O treinamento da arquitetura resultou em uma acurácia de classificação, isto é, a chance percentual de identificar o objeto a ser procurado nas imagens, de 99,2%, com uma taxa de falsos negativos de 1,5%. O erro na localização das áreas delimitadas foi de 5,1%, indicando que a arquitetura teve dificuldades em encontrar com precisão a posição dos módulos em algumas imagens.

Após o treinamento, a arquitetura foi validada utilizando os conjuntos de treinamento, validação e teste. A precisão média (AP) para o conjunto de teste foi de 85,8%, com uma precisão de 95,0% para IoU acima de 0,5 e 93,7% para IoU acima de 0,75. Esses resultados são comparáveis aos melhores modelos da competição COCO (*Common Objects in Context*), que alcançaram uma precisão média de 84,7% para a classe de ursos, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7. Métricas de precisão durante o treinamento (a) precisão média (IoU = 0,5 : 0,95) por interações; (b) precisão médio (IoU = 0,5) por interações; (c) precisão média (IoU = 0,75) por interações.

(a) (b) (c)



Fonte: Peruzzo, 2022.

Os resultados obtidos superaram os melhores modelos da competição COCO em várias métricas, incluindo a precisão média (AP) para IoU entre 0,5 e 0,95. Conforme a Tabela 1, Isso demonstra que a arquitetura proposta é eficaz na detecção de módulos fotovoltaicos em imagens aéreas e pode ser um indicativo de aplicação em aplicativos comerciais de identificação, incluindo a operação e manutenção de usinas solares.

Tabela 1. Resultados do treinamento, validação e teste para um conjunto de precisões.

Conjunto	Treinamento	Validação	Teste
AP (0.5:0.95)	95.6%	86.6%	85.8%
AP (0.5)	99.0%	95.9%	95.0%
AP (0.75)	98.0%	93.6%	93.7%

Fonte: Peruzzo, 2022.

Conclusões

Este artigo demonstrou a viabilidade da utilização de redes neurais convolucionais e visão computacional para a detecção de módulos fotovoltaicos em usinas solares baseados em imagens aéreas. A arquitetura *Faster R-CNN* alcançou uma precisão média de 85,8% no conjunto de teste, equiparando com modelos da competição *COCO*. A estratégia proposta para identificação dos módulos, desde a aquisição das imagens até o treinamento e validação da rede neural, mostrou-se eficiente e robusta para o tal serviço. Futuros trabalhos oriundos deste artigo irão explorar a inclusão de mais imagens para aumentar a generalização da arquitetura, além de investigar técnicas para reduzir o erro na localização das caixas delimitadoras onde os módulos solares estão presentes. Assim, esse artigo reforça que a automação da inspeção de sistemas fotovoltaicos por meio de técnicas de aprendizado de máquina é uma solução promissora para reduzir os riscos de operação e manutenção e o tempo necessário para com a inspeção manual.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatórios e Indicadores de Geração.** Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e- indicadores/geracao. Acesso em: 22 fev.2025.

PERUZZO, VINICIUS ALEX DAL MAGRO. **Identificação de Módulos Fotovoltaicos a partir de Imagens Aéreas com o Auxílio de Rede Neural e Visão**

Computacional. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2022. Disponível em: [https://biblioteca.ucs.br/acervo/358768]. Acesso em: 22 fev. 2025].

VILLALVA, MARCELO GRADELLA. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed., rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

BOŽIĆ-ŠTULIĆ, D. *et al.* **Complete model for automatic object detection and localisation on aerial images using convolutional neural networks**. Journal of Communications Software and Systems, 2018.

CARDINALE-VILLALOBOS, L.; RIMOLO-DONADIO, R.; MEZA, C. **Solar panel failure detection by infrared UAS digital photogrammetry: a case study**. Int. J. Renew. Energy Res., 2020.

HE, K.; ZHANG, L. Automatic detection and mapping of solar photovoltaic arrays with deep convolutional neural networks in high resolution satellite images. IEEE, 2020.

PHAM, V.; PHAM, C.; DANG, T. **Road damage detection and classification with Detectron2 and Faster R-CNN**. IEEE, 2020.

REN, S. *et al.* **Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in neural information processing systems**, 2015.

Avaliação da Qualidade da Água do Rio Tega: Comparação com os Padrões da CONAMA 357/05 e o Índice de Qualidade da Água

Marina Elizabete Zorge[1], Denise Peresin[2], Bianca Breda[3], Juliano Rodrigues Gimenez[4]

[1,2,3,4] Instituto de Saneamento Ambiental /Universidade de Caxias do Sul [1]mezorge@ucs.br; [2]dperesin@ucs.br; [3]BBreda@ucs.br; [4]jrgimene@ucs.br

Resumo: A água é essencial para a vida na Terra, tornando indispensável o monitoramento de sua qualidade para a preservação ambiental. A Lei Federal n° 9.433/97, a Resolução CONAMA n° 357/05 e a Resolução CRH 405/22 estabelecem diretrizes para assegurar a qualidade da água. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da contaminação decorrente do uso e ocupação do solo de parte da bacia hidrográfica do Arroio Tega, por meio do Índice de Qualidade da Água e de sua classificação conforme CONAMA n° 357/05, além do atendimento ao enquadramento estabelecido pela Resolução CRH 405/22. Para isso, foram realizados monitoramentos qualiquantitativos em três pontos: dois próximos à nascente e um na região do moinho da cascata do Rio Tega, em duas campanhas em 2024, abrangendo 11 parâmetros físico-químicos. Os resultados foram avaliados através do IQA e a classificação Conama n°357/05. No ponto 1, apenas os coliformes termotolerantes apresentaram concentrações acima do limite para Classe 2. No ponto 2, os parâmetros excedentes foram coliformes termotolerantes, DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo total. No ponto 3, os valores variaram entre as coletas, e os parâmetros fora dos limites incluíram coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, cromo total, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. Quanto ao IQA, o ponto 1 apresentou qualidade aceitável da água, enquanto os demais apontam qualidade ruim. Os resultados indicam que o recurso hídrico não atende ao enquadramento para a Classe 2. Portanto, é necessário o contínuo monitoramento do rio e estratégias de educação ambiental para que atenda ao enquadramento exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a Classe 2.

Palavras-chave: Índice de Qualidade de Água. Recursos Hídricos. Enquadramento.

Assessment of Water Quality in the Tega River: Comparison with CONAMA 357/05 Standards and the Water Quality Index

Abstract: Water is essential for life on Earth, making it indispensable to monitor its quality for environmental preservation. Federal Law No. 9.433/97,

CONAMA Resolution No. 357/05, and CRH Resolution 405/22 establish guidelines to ensure water quality. The objective of this study is to evaluate the impact of contamination resulting from land use and occupation in part of the Arroio Tega watershed, using the Water Quality Index and its classification according to CONAMA No. 357/05, in addition to meeting the framework established by CRH Resolution 405/22. For this purpose, qualitative and quantitative monitoring was carried out at three points: two near the spring and one in the mill region of the Rio Tega waterfall, in two campaigns in 2024, covering 11 physicochemical parameters. The results were evaluated using the WQI and the Conama No. 357/05 classification. At point 1, only thermotolerant coliforms showed concentrations above the limit for Class 2. At point 2, the excess parameters were thermotolerant coliforms, BOD, ammoniacal nitrogen, and total phosphorus. At point 3, the values varied between collections, and the parameters outside the limits included thermotolerant coliforms, BOD, total phosphorus, total chromium, dissolved oxygen, and ammoniacal nitrogen. Regarding the WQI, point 1 showed acceptable water quality, while the others indicate poor quality. The results indicate that the water resource does not meet the framework for Class 2. Therefore, continuous monitoring of the river and environmental education strategies are necessary to meet the framework required by CONAMA Resolution No. 357/2005 for Class 2.

Key words: Water Quality Index. Water Resources. Classification.

Introdução

Os rios desempenham papel fundamental nos centros urbanos, porém ações antrópicas, como o uso indevido do solo impactam a qualidade da água e causa desequilíbrio ambiental, resultando em problemas como enchentes e o comprometimento das funções dos corpos hídricos nos centros urbanos (ROSSI *et al*., 2012).

A água é um recurso finito e indispensável para a manutenção da vida na Terra, por conta disso a qualidade da água é uma temática de preocupação mundial (SOARES *et al.,* 2021). Além disso, o acesso à água de qualidade é um direito humano fundamental (BÁRTA *et al.,* 2021). Sendo assim, o monitoramento dos corpos hídricos, principalmente em regiões urbanizadas são essenciais para a preservação ambiental (SCHNEIDER *et al*., 2024).

Em âmbito nacional, a Política Nacional de Recursos Hídricos instituída por meio da Lei n° 9.433/1997 tem o intuito de assegurar água potável para as gerações atuais e futuras (BRASIL, 1997), além disso, a Resolução CONAMA 357/2005 classifica os corpos d'água conforme os padrões de qualidade e define diretrizes para seu enquadramento (BRASIL, 2005), na qual classificam a água em 5 classes diferentes

sendo a Classe Especial com a melhor qualidade da água e a Classe IV com a pior qualidade.

A poluição dos rios é especialmente acentuada em áreas urbanas, principalmente devido às atividades humanas, o que torna essencial que a população compreenda os impactos de seu estilo de vida no meio ambiente (LEAL *et al*., 2021). Além da conscientização, é imprescindível realizar o monitoramento contínuo da qualidade da água. O monitoramento dos corpos hídricos é uma ferramenta crucial para a gestão ambiental, ajudando a prevenir os efeitos negativos de possíveis contaminações no ecossistema aquático e na saúde pública (NODARI *et al.,* 2018 *apud* NASCIMENTO, 2022).

Com base nisso, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da contaminação decorrente do uso e ocupação do solo de parte da bacia hidrográfica do Arroio Tega localizado em Caxias do Sul/RS, por meio do Índice de Qualidade da Água e de sua classificação conforme CONAMA n° 357/05, bem como o atendimento ao enquadramento estabelecido pela Resolução CRH 405/22.

Metodologia

O monitoramento foi realizado no Rio Tega, localizado na zona urbana do município de Caxias do Sul, RS, em 3 pontos diferentes, sendo:

- Ponto 1 (P1): região de nascente, no bairro São Ciro (-29,136563°/-51,13982°), zona urbanizada;
- Ponto 2 (P2): região de nascente, no bairro Interlagos (-29,14896°/-51,17281°), zona altamente urbanizada;
- Ponto 3 (P3): próximo ao Moinho da Cascata no bairro Marechal Floriano (-29,15823°/-51,21027°), zona altamente urbanizada.

As coletas foram realizadas no mês de agosto (inverno) e de outubro (primavera) de 2024. A Figura 1 apresenta a Bacia do Rio Tega e a localização dos pontos amostrados.

Figura 1 – Localização dos pontos amostrados no Rio Tega



Fonte: Autores (2024).

As amostras foram coletadas conforme orientações descritas pela NBR nº 9.898/1987 (ABNT, 1988), pela NBR nº 9.897/1987 (ABNT, 1987) e pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB; ANA, 2023). Os parâmetros analisados pelo Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPAM/UCS) e pelo Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS), juntamente com a metodologia aplicada e os respectivos limites de detecção, estão detalhados na Tabela 1. Foi aplicado o Índice de Qualidade da Água (IQA), que classifica os corpos hídricos com base em parâmetros específicos: Oxigênio Dissolvido, Coliformes Fecais, pH, DBO, Fósforo Total, Temperatura, Nitrogênio Total, Turbidez e Sólidos Totais. O cálculo do IQA segue a metodologia desenvolvida pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB, 2017) e utiliza a classificação adaptada para o estado do Rio Grande do Sul (ANA, 2024). O índice é calculado por meio de uma fórmula de produtório, utilizando as curvas de importância para cada parâmetro de qualidade de água, atribuindo a cada um deles um peso específico. Por fim, os resultados obtidos permitem classificar a qualidade da água em categorias que variam de “Ótima” a “Péssima”.

Os resultados dos parâmetros foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução n° 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005), que classifica as águas doces de acordo com seus principais usos, para verificar a conformidade com a Resolução CRH n° 405/2022 (RIO GRANDE DO SUL, 2022), que define o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, estipulando que o Rio Tega deve alcançar a Classe 2 a partir de 2022. Assim, os resultados das análises foram comparados com os padrões da Classe 2 estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos utilizados na classificação das águas superficiais do Rio Tega e Limites para Classe 2 da CONAMA 357/05

	Parâmetro	**L.Q.**	**Unidade**	**CONAMA 357/05 – Limites para Classe 2**	**Método**
Análises em Campo	Condutividade	0,005	mS/cm	Não estabelece	Sonda multiparâmetro MULT 001 [ISAM PE 001]
	ORP	-62	mV	Não estabelece	Sonda multiparâmetro MULT 001 [ISAM PE 001]
	Oxigênio Dissolvido	0,05	mg/L	≥ 5	Oxímetro óptico OXI 001 [ISAM PE 002]
	pH	-	pH	6,0 a 9,0	Sonda multiparâmetro MULT 001 [ISAM PE 001]
	Temperatura da amostra	-	°C	Não estabelece	Oxímetro óptico OXI 001 [ISAM PE 002]
	Turbidez	-	NTU	≤ 100	Sonda multiparâmetro MULT 001 [ISAM PE 001]

Análises Laboratoriais	Cianeto Total	0,010	mg CN-/L	≤0,005	SMWW-Método 4500-CN-E [LAPAM PE 043]
	Coliformes termotolerantes	1,8	NMP/100mL	≤ 1000	LAPAM PE 042
	Demanda bioquímica de oxigênio	1,0	mgO2/L	≤ 5	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
	Nitrogênio amoniacal	3,00	mg NH3-N /L	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	LAPAM PE 006
	Nitrogênio total kjeldahl (NTK)	3,00	mg NH3-N /L	Não estabelece	SMWW-Método 4500-Norg-C
	Chumbo total	0,01	mg Pb/L	≤0,01	Método: 3030 E e 3120 B
	Cromo total	0,01	mg Cr/L	≤0,05	Método: 3030 E e 3120 B
	Fósforo Total	0,016	mg P.L-1	≤ 0,03em ambiente lêntico; ≤ 0,05em ambiente intermediário; ≤ 0,10 em ambiente lótico	SMWW – Método 4500-P B e E
	Níquel Total	0,0076	mg.L-1	≤0,025	SMWW – Método 3120-B

Fonte: Autores (2024).

Resultados

Os resultados relativos ao Índice de Qualidade da Água (IQA) estão apresentados na Tabela 3, com a cor amarela indicando qualidade da água média/aceitável e a cor laranja representando qualidade ruim.

Tabela 3 – Resultados do Índice de Qualidade da Água

Ponto	**1**		**2**		**3**	
Campanha	ago/24	out/24	ago/24	out/24	ago/24	out/24
IQA	62	60	43	35	46	35

Fonte: Autores (2025).

Os resultados mostram que no Ponto 1, nas duas campanhas, apresentou resultados de qualidade da água média/aceitável, enquanto nos demais pontos, em todas as campanhas mostraram qualidade ruim.

Os resultados obtidos para amostras encaminhadas ao laboratório e dos parâmetros avaliados em campo, estão elencados na Tabela 2, marcados em verde para os parâmetros que atenderam aos limites estabelecidos para Classe 2 e em vermelho para os valores que não atenderam a classificação.

Tabela 2 – Concentração dos Parâmetros e Atendimento a Classe 2 no ano de 2024

Parâmetro	**P1**		**P2**		**P3**	
	Ago./24	**Out./24**	**Ago./24**	**Out./24**	**Ago./24**	**Out./24**
Oxig. Dissolvido (mg/L)	8	7	7,5	6,6	6,9	5,7
pH	6,55	7,02	7,33	7,69	7,33	7,67
Temperatura (°C)	10,3	17,8	12,2	18,9	12,1	19,9
Turbidez (NTU)	2	5,7	11,2	16,9	7	10,8
Col. termotolerantes (NMP/100mL)	7.900	7.900	240.000	160.000	79.000	92.000
DBO (mgO2/L)	5,3	4,1	9,6	19	11	14,9
Nitr. Amoniacal (mg NH3-N /L)	3	3	6,59	7,17	<3,00	7,73
Fósforo total (mg P□L-1)	0,02	0,05	0,81	0,95	0,87	1,06
Chumbo total (mg Pb/L)	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo total (mg Cr/L)	0,01	0,01	<0,01	0,04	0,11	0,05
Níquel total (mg.L-1)	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Fonte: Autores (2024).

Nas duas coletas realizadas na nascente região do Bairro São Ciro (P1), os resultados mostraram que apenas o parâmetro de coliformes termotolerantes ficou acima do limite estabelecido para a Classe 2, não atendendo assim ao enquadramento do recurso hídrico.

Na região de Nascente do bairro Interlagos (P2), em ambas as coletas, os parâmetros que ultrapassaram os limites para a Classe 2, foram: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal e fósforo total.

No ponto do Moinho da Cascata (P3), os resultados variaram entre agosto e setembro. Em agosto, os parâmetros com resultados além do limite da Classe 2, foram: coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total e cromo total. Em setembro, além dos parâmetros citados, o oxigênio dissolvido e o nitrogênio amoniacal também não atenderam aos limites.

Dessa forma, observa-se que alguns parâmetros ainda apresentam concentrações superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a Classe 2, não atendendo ao enquadramento exigido para o trecho.

A análise dos dados revela que o ponto P1 exibe a melhor qualidade da água, enquanto os demais pontos apresentam piora na qualidade. Essa diferença pode ser atribuída à localização do P1 em uma zona de nascente, menos urbanizada e com menor impacto do acúmulo de efluentes industriais e esgoto doméstico, que impactam a qualidade da água nos demais pontos.

Conclusão

Os resultados deste estudo indicam que a qualidade da água do Rio Tega apresenta piora à medida que passa pela área mais urbanizada. Isso ocorre devido ao lançamento de esgoto doméstico e resíduos industriais. Essa piora fica evidente quando comparamos o ponto P1 (Nascente São Ciro, no início do arroio) com o ponto P3 (Moinho da Cascata, ponto a jusante). Enquanto o ponto P1 apresentou qualidade da água considerada aceitável, os pontos P2 e P3 revelaram comprometimentos significativos na qualidade da água.

Nos pontos a jusante (P2 e P3), há aumento nos valores de condutividade, pH, temperatura, turbidez, DBO, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total. Além disso, o ORP diminuiu, indicando condições

de pior qualidade. Os valores do Índice de Qualidade da Água corroboram essas observações, classificando a água como aceitável apenas no P1, enquanto P2 e P3 apresentaram qualidade ruim em ambas as campanhas. Esses dados evidenciam o impacto direto das atividades humanas, como o lançamento de esgoto doméstico e industrial, sobre as características do recurso hídrico.

Portanto, os resultados ressaltam a necessidade do contínuo monitoramento do rio, além de estratégias de educação ambiental, para que o Rio Tega possa atender ao enquadramento exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a Classe 2.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, jun.1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, jun.1988.

BÁRTA, Renata Linassi *et al.* Qualidade da água para consumo humano no Brasil: revisão integrativa da literatura. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 9, n. 4, p. 74-85, 2021.

BRASIL. **Lei Federal n° 9.433, de 8 de janeiro de 1977.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Planalto, Brasil-DF. 1977. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 23 jan. 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 357/2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; ANA, Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes líquidos**. 2023. Brasília-DF.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Apêndice D: Índices de Qualidade das Águas. (atualizado de 2010). Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf. Acesso em: jan. 2025.

LEAL, Jefferson Luiz Figueiredo; SALGADO, Patrícia Figueiredo; CARNEIRO, Suzana Célia de Aguiar Soares. Projeto de conscientização da população da cidade de timbaúba sobre a necessidade de renaturalização do rio capibaribe mirim. **Pesquisa & Educação a Distância**, n. 22, 2021.

NASCIMENTO, Priscila da Silva. **Qualidade de água para consumo humano e saúde ambiental no Projeto de Assentamento Nova Amazônia, Boa Vista-Roraima.** 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CRH n°405/22.** Atualiza o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 22 mar. 2022.

ROSSI, Wilson *et al.* Fontes de poluição e o controle da degradação ambiental dos rios urbanos em Salvador. **Revista Interdisciplinar de Gestão Social**, v. 1, n. 1, 2012.

SCHNEIDER, V. E.; MENEGAT, M.; BREDA, B.; GIMENEZ, J. R.; MENDES, L. A. Qualidade da água do rio Tega (RS/BR): Análise quanto as metas de enquadramento, toxicidade e capacidade de autodepuração. **1º Fórum Técnico Científico da Bacia Hidrográfica Taquari Antas**. 2024.

SOARES, L. M.; COLDEBELLA, P. F.; FRIGO, J. P. Avaliação da qualidade da água de rios brasileiros utilizando células meristemáticas de Allium cepa como bioindicador: uma revisão integrativa /Water quality assessment of brazilian rivers using Allium cepa meristematic cells as a bioindicator: an integrative review. **Brazilian Journal of Development**, *[S. l.]*, v. 7, n. 1, p. 6983–6999, 2021.

A Editora

A Editora da Universidade de Caxias do Sul, desde sua fundação em 1976, tem procurado valorizar o trabalho dos professores, as atividades de pesquisa e a produção literária dos autores da região. O nosso acervo tem por volta de 1.600 títulos publicados em formato de livros impressos e 600 títulos publicados em formato digital. Editamos aproximadamente 1.000 páginas por semana, consolidando nossa posição entre as maiores editoras acadêmicas do estado no que se refere ao volume de publicações.

Nossos principais canais de venda são a loja da Educs na Amazon e o nosso site para obras físicas e digitais. Para a difusão do nosso conteúdo, temos a publicação das obras em formato digital pelas plataformas Pearson e eLivro, bem como a distribuição por assinatura no formato streaming pela plataforma internacional Perlego. Além disso, publicamos as revistas científicas da Universidade no portal dos periódicos hospedado em nosso site, contribuindo para a popularização da ciência.

Nossos Selos

- **EDUCS/Ensino**, relativo aos materiais didático-pedagógicos;
- **EDUCS/Origens**, para obras com temáticas referentes a memórias das famílias e das instituições regionais;
- **EDUCS/Pockets**, para obras de menor extensão que possam difundir conhecimentos pontuais, com rapidez e informação assertiva;
- **EDUCS/Pesquisa**, referente às publicações oriundas de pesquisas de graduação e pós-graduação;
- **EDUCS/Literário**, para qualificar a produção literária em suas diversas formas e valorizar os autores regionais;
- **EDUCS/Traduções**, que atendem à publicação de obras diferenciadas cuja tradução e a oferta contribuem para a difusão do conhecimento específico;
- **EDUCS/Comunidade**, cujo escopo são as publicações que possam reforçar os laços comunitários;
- **EDUCS/Internacional**, para obras bilíngues ou publicadas em idiomas estrangeiros;
- **EDUCS/Infantojuvenil**, para a disseminação do saber qualificado a esses públicos;
- **EDUCS/Teses & Dissertações**, para publicação dos resultados das pesquisas em programas de pós-graduação.

Conheça as possibilidades de formação e aperfeiçoamento vinculadas às áreas de conhecimento desta publicação acessando o QR Code.


EDUCS