8º SSS

SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS



ANAIS

VOLUME I B

RESUMOS E ARTIGOS COMPLETOS

2025

Comissão Organizadora

Cristiano Poleto
Maria Cristina de Almeida Silva
Tiago de Vargas
Franciéle Schwanck Carlos
Maurício Andrades Paixão
Antonio Carlos Ribeiro Araújo Junior

ANAIS DO 8º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

Volume 1B

Resumos e Artigos completos

2025

Copyright © **2025,** *by Imagem Gráfica & Editora*
Direitos Reservados em 2025 por Imagem Gráfica & Editora
Organização Geral da obra: Poleto, Cristiano; Silva, Maria Cristina de Almeida; Vargas, Tiago de; Carlos, Franciéle Schwanck; Paixão, Maurício Andrades; Araújo Júnior, Antonio Carlos Ribeiro.
Capa e Diagramação: Cícero Manz Fagotti
Revisão: Elissandro Voigt Beier
Editor: Cristiano Poleto

Anais do 8° Simpósio Sobre Sistemas Sustentáveis [livro eletrônico]: resumos e artigos completos – Volume 1 B / organização: Cristiano Poleto... [et al.]. - Toledo, PR: Gráfica Imagem, 2025.

PDF

Vários autores.

Outros organizadores: Maria Cristina de Almeida Silva, Tiago de Vargas, Franciéle Schwanck Carlos, Maurício Andrades Paixão, Antonio Carlos Ribeiro Araújo Júnior.

Bibliografia.

ISBN 978-65-87570-28-0
394p.: il.;

1. Artigos - Coletâneas 2. Biodiversidade 3. Meio ambiente - Conservação e Proteção 4. Recursos naturais 5. Recursos naturais - Conservação 6. Sustentabilidade ambiental I. Poleto, Cristiano. II. Silva, Maria Cristina de Almeida. III. Vargas, Tiago de. IV. Carlos, Franciéle Schwanck. V. Paixão, Maurício Andrades. VI. Araújo Júnior, Antonio Carlos Ribeiro. VII. Título

25-290219 CDD:333.9516

Índices para catálogo sistemático: 1. Biodiversidade: Conservação: Recursos naturais
Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por qualquer meio, sem autorização escrita do Editor ou dos Organizadores.

Comissão Organizadora

Dr. Cristiano Poleto (PRESIDENTE)
IPH / UFRGS

Dra. Maria Cristina de Almeida Silva
IPH/UFRGS

Dr. Tiago de Vargas
IPH/UFRGS

Dra. Franciéle Schwanck Carlos
IPH/UFRGS

Dr. Maurício Andrades Paixão
IPH/UFRGS

Dr. Antonio Carlos Ribeiro Araújo Júnior
UFRR

Comissão Científica

Aline Ferrão Custodio Passini
UFSM

Álvaro José Back
EPAGRI/SC

Amintas Nazareth Rossete
UNEMAT

André Luís Sotero Salustiano Martim
UNICAMP

Andrezza Marques Ferreira
CEMADEN

Carla Eloísa Diniz dos Santos
UFTM

Carlos Alberto Mendes Moraes
UNISINOS

Cíntia Soares
UFSC

Claudia Telles Benatti
UEM

Cristiane Kreutz
UTFPR

Diego Andrade Lemos
UFSCar

Edna Possan
UNILA

Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri
UFPR

Fabiana Bassani
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Felippe Fernandes
Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira

Fernando Neves Lima
UNIFEI

Fernando Periotto
UFSCAR

Flavia Schwarz Franceschini Zinani
UFRGS

Franciéle Schwanck Carlos
IPH/UFRGS

Francisco Lledo dos Santos
UNEMAT

Geraldo de Freitas Maciel
UNESP

Hugo Morais de Alcântara
UFCG

Indianara F. Barcarolli
UDESC

João Pedroso de Lima
Universidade de Coimbra/Portugal

Joel Dias da Silva
FURB

Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro
Univ. do Algarve/Portugal

José Augusto Costa Gonçalves
UNIFEI

José Carlos de Araújo
UFC

José Gilberto Dalfré Filho
UNICAMP

Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves
UFTM

Laura Maria Canno Ferreira Fais
UNICAMP

Liseane Padilha Thives
UFSC

Luciana Turatti
UNIVATES

Luis Eduardo A. S. Suzuki
UFPEL

Marcelo Giovanela
UCS

Márcia Teixeira Falcão
UERR

Maria Cristina de Almeida Silva
UFRGS

Maristela Denise Moresco Mezzomo
UTFPR

Morgana Vaz da Silva
UFPel

Patrícia Diniz Martins
UFTM

Paulo Henrique Pereira Reis
CEDAE Rio de Janeiro

Pedro Alves da Silva Filho
UFRR

Renato Miranda
USP

Sidnei Luís Bohn Gass
UNIPAMPA

Simone Andrea Furegatti
UNESP

Simone Ramires
UFRGS

Stenio de Sousa Venancio
UFTM

Tiago de Vargas
UFRGS

organização

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

realização

GRUPO DE PESQUISA SISAAU SISTEMAS SUSTENTAVEIS APLICADOS A ÁREAS URBANAS

NESA
Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental

EASVA
Associação dos Engenheiros Ambientais e Sanitaristas do Vale do Taquari

GRUPO DE PESQUISAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

patrocínio

HIDRA
RECURSOS HÍDRICOS

LIPAN
Laboratório de Investigação
Ambiental do Pantanal Norte

apoio

SpInLab
Spatial Information Laboratory

ProfÁgua

SCIENTIA PLENA
ISSN: 1808-2793

| SUMÁRIO |

ÍNDICES DE ÁREA VERDE E COBERTURA VEGETAL PARA O BAIRRO JARDIM CARANÃ, NO MUNICIPIO DE BOA VISTA - RR 13

PERCEPÇÃO DA COMUNIDADE EM RELAÇÃO À ZONA COSTEIRA: IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL 16

O PACTO PELA GOVERNANÇA DA ÁGUA NO BRASIL: PERSPECTIVAS E DESAFIOS 20

COOPERATIVAS E SUSTENTABILIDADE: CONTRIBUIÇÕES PARA OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 27

DINÂMICA DO USO DO SOLO EM APPS DE IMÓVEIS RURAIS DE OCARA-CE (2003-2023): UMA ANÁLISE A PARTIR DO CAR. 31

ANÁLISE QUALITATIVA DE PRODUÇÕES CIENTÍFICAS RELACIONADAS A SEDIMENTOS 38

LEVANTAMENTO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL E APLICAÇÃO NO CONTEXTO AMAZÔNICO 42

QUALIDADE DA ÁGUA EM MANANCIAL DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA - GO 45

INTRUSÃO SALINA NO CANAL SÃO GONÇALO E SUAS CONSEQUÊNCIAS NOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA 48

DESAFIOS PARA CONSERVAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA URBANIZADOS EM ECOSSISTEMAS SUL-AMAZÔNICOS 51

IMPACTO DEL CAMBIO DE FOTOPERIODO EN EL CRECIMIENTO Y METABOLISMO DE MICROALGAS (*CHLORELLA VULGARIS*) 54

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO UGRHI 13 57

AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUA DA LAGOA: APUCARANA, PR 60

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E TOXICIDADE EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS NA BACIA DO RIBEIRÃO LINDÓIA (LONDRINA/PR) 65

O IMPACTO DOS PESTICIDAS E POLUENTES EMERGENTES EM MATRIZES AMBIENTAIS E ALTERNATIVAS DE REMOÇÃO BASEADAS EM NANOTECNOLOGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 71

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILME DE MUCILAGEM DE CHIA EM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA 76

UTILIZAÇÃO DA RAÍZ DE MORINGA OLEÍFERA COMO BIOSSORVENTE DO BÁRIO 81

ESTUDOS AMBIENTAIS NA BACIA DO RIBEIRÃO LINDÓIA (LONDRINA-PR): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA 89

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DA BARRAGEM MÃE D´ÁGUA, PORTO ALEGRE/RS 95

INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA/PR 98

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENTRO-OESTE DO RIO GRANDE DO SUL 106

SUBPRODUTOS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS 112

POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS NA FRANÇA: ALINHAMENTO AOS PRINCÍPIOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 119

SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DEL AGUA Y SU GESTIÓN MUNICIPAL: EL CASO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA (SANTANDER - COLOMBIA) 122

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS, UM ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS LAGOS IGAPÓ, LONDRINA-PR 125

DELIMITAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO DO PEIXE (SP) COM BASE NA HIERARQUIA DE STRAHLER E MDE SRTM 129

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM TRÊS RIBEIRÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LINDÓIA NO MUNICÍPIO LONDRINA - PR 134

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUAS DO TARUMÃ - APUCARANA - PR 140

DINÂMICA ESPAÇOTEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL (PR) 146

SOFTWARE BFLOW PARA DIMENSIONAMENTO DE BUEIRO HIDRÁULICO COMO CANAL LIVRE 152

PARQUE LINEAR COMO ESTRATÉGIA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS 158

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM CONDENSADORES EVAPORATIVOS DE UMA INDÚSTRIA FRIGORÍFICA DE PRESIDENTE LUCENA - RS: ESTUDO DE CASO 162

A REVISÃO DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO E SUA INTEGRAÇÃO COM O PLANO DE BACIA DO TURVO GRANDE 167

OTIMIZAÇÃO HIDRÁULICA E PEDAGÓGICA: PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL EM AMBIENTE UNIVERSITÁRIO 174

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM PERNAMBUCO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES 180

COLETA DE ÁGUA DE CHUVA DE PAVIMENTOS DRENANTES IMPLANTADOS EM CALÇADÕES DE CENTROS URBANOS E VIABILIDADE DE USO PARA FINS NÃO POTÁVEIS 184

PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: APLICABILIDADE NO SETOR HÍDRICO 190

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE IVINHEMA, MATO GROSSO DO SUL 194

ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO HÍDRICA DEMOCRÁTICA: ABORDAGENS DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS 200

BENEFICIAMENTO E RETIRADA DE LEDS DE MÓDULOS DE LÂMPADAS PÓS-CONSUMO 206

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO EM LAVRAS DA MANGABEIRA-CE COM TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO 210

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E HIDRÁULICAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM AGREGADO SIDERÚRGICO 212

ESTUDO DA REMOÇÃO DE PELÍCULA DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO 218

POTENCIAL DE TINGIMENTO DE FIBRAS DE POLIAMIDA COM EMPREGO DE EXTRATO DE FOLHAS DE EUCALIPTO 222

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EMPREGANDO RESÍDUOS DE PODA ARBÓREA URBANA DAS ESPÉCIES BRINCO DE ÍNDIO (*Cojoba arbórea*) E MANGUEIRA (*Mangífera indica*) 228

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA SÍNTESE DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO 234

DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE COMPOSTAGEM DAS ESCOLAS MUNICIPAIS DE VIANA - ES 240

CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA E RESÍDUOS SÓLIDOS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO, NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ 246

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA SEMENTE DO CUPUAÇU COMO INDICADOR NATURAL DE pH 252

ESTANDARIZACIÓN POR DISTINTOS METODOS PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO APARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA (ESCAMAS DE PESCADO) 258

ESTUDO COMPARATIVO DAS EMISSÕES E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS EM UNIDADES DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS 265

USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM: UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA PARA O MUNÍCIPIO DE JURUTI, ESTADO DO PARÁ 271

PRÉ-SELEÇÃO DE ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA QUARTA COLÔNIA/RS COM BASE NO MÉTODO MAUT APOIADO POR SIG 277

USO DA TECNOLOGIA PARA O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DO APLICATIVO “RECICLEI!” 284

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM UMA ESCOLA PÚBLICA DE SANTARÉM - PA 290

IMPACTOS LEGISLATIVOS E TRIBUTÁRIOS SOBRE O SETOR DE SANEAMENTO NO BRASIL 296

O ESTADO DA ARTE DO USO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA DE *WETLAND* CONSTRUÍDO 303

DIFICULDADES NA CONSTRUÇÃO E MONITORAMENTO DE TANQUES DE EVAPOTRANPIRAÇÃO PARA TRATAR ESGOTO FECAL EM COMUNIDADES RURAIS 307

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CLOROFILA EN *CHLORELLA VULGARIS* MEDIANTE EL USO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE NITRÓGENO 314

IMPACTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA SAÚDE PÚBLICA: UMA REVISÃO DAS DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA NO BRASIL 318

INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE VIABILIDADE EM POÇOS DE CALDAS 325

INFRAESTRUTURA VERDE NA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DOS JARDINS DE CHUVA: O CASO DA RUA MAJOR NATANAEL - SP 329

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: CONTRIBUIÇÕES PARA O CONCEITO DE CIDADE-ESPONJA NO NORDESTE BRASILEIRO 335

ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DE CHEIAS ATRAVÉS DO RESERVATÓRIO DE RETENÇÃO DE UBERABA - MG 340

SUSTENTABILIDADE E ENERGIA SOLAR NO CAMPO: A PERCEPÇÃO DOS PRODUTORES RURAIS 347

AGRONEGÓCIO CAFÉ NO BRASIL: GESTÃO DIRECIONADA À SUSTENTABILIDADE..... 351

ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE ENTRE HORTALIÇAS DO CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL 357

SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR: PRÁTICAS E FATORES DETERMINANTES NA ADOÇÃO POR PEQUENOS PRODUTORES..... 362

USO DE BIOSSÓLIDO E INOCULAÇÃO BACTERIANA NA MELHORIA DO CRESCIMENTO DE *Canavalia ensiformis* EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE 369

EFEITO DO BIOSSÓLIDO E DO ESTRESSE HÍDRICO NO CRESCIMENTO DE *Canavalia ensiformis* EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE..... 372

EFEITO DO BIOSSÓLIDO E DA INOCULAÇÃO BACTERIANA NO TEOR DE CLOROFILA DE *Canavalia ensiformis* NA FITORREMEDIAÇÃO DE COBRE NO SOLO 375

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E IMPACTOS DO DESMATAMENTO EM MATO GROSSO ENTRE 1985 E 2023: UMA ABORDAGEM POR GEOTECNOLOGIAS..... 379

MAPEAMENTO DE STARTUPS DO BRASIL NO SEGMENTO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS..... 388

— RESUMOS —

Políticas Públicas, Legislação e Meio Ambiente

8º SSS

ÍNDICES DE ÁREA VERDE E COBERTURA VEGETAL PARA O BAIRRO JARDIM CARANÃ, NO MUNICIPIO DE BOA VISTA - RR

1Kétlen Cristiany Brito de Souza, 2Pedro Alves da Silva Filho, 3Graciete Guerra da Costa, 4Glebisson Cunha da Silva

1Universidade Federal de Roraima, e-mail: ketlen.souza@ufrr.br; 2Universidade Federal de Roraima, e-mail: pedro.filho@ufrr.br; 3Universidade Federal de Roraima, e-mail: graciete.costa@ufrr.br; 4Universidade Federal de Roraima, e-mail: glebisson.silva@ufrr.br

Palavras-chave: Índice de área verde; vegetação urbana; sombreamento e conforto térmico.

Resumo Expandido

A temática que trata das áreas verdes nos espaços urbanos tem sido cada vez mais discutida, uma vez que essas áreas amenizam os impactos provocados pelas cidades, sendo de total relevância para a dinâmica do sistema urbano. Consideram-se áreas verdes os locais que possuem vegetação, incluindo praças, parques urbanos, canteiros centrais e trechos de vias públicas, que têm funções estéticas e ecológicas (CAPORUSSO; MATIAS, 2008). Quanto às árvores, elas contribuem para melhorar as condições de conforto, reduzindo a temperatura devido às suas altas taxas de transpiração. Dessa forma, elas desempenham um papel importante na redução da insolação direta (MILANO; DALCIN, 2000). Áreas arborizadas também proporcionam bem-estar psicológico, efeitos estéticos agradáveis, sombra para pedestres e veículos, direcionamento do vento, redução do ruído, mitigação do escoamento superficial da água da chuva, redução da temperatura por meio da absorção dos raios solares, resfriamento do ambiente devido à transpiração das árvores, melhoria da qualidade do ar por meio das folhas e preservação da fauna silvestre (LIMA NETO et al., 2007).

No âmbito urbanístico, ao buscar um valor ideal para melhorar a qualidade de vida da população, Cavalheiro e Del Piccha (1992) mencionam que dados da ONU, da Organização de Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam que cada cidade tenha pelo menos 12m² de cobertura vegetal por habitante (ICV), devido à sua importância na regulação climática e na purificação do ar. Quanto ao IAV, temos como referência os dados da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU), que recomendou um índice mínimo de 15 m² de área verde pública por habitante (SBAU, 1996).

Segundo Arruda et al. (2013), o estudo da qualidade ambiental e da qualidade de vida dos habitantes de um local é considerado um importante instrumento para a análise das condições socioambientais daquela população, pois elementos como a vegetação para muitos pesquisadores, são considerados como importantes indicadores para qualidade de vida e saúde da população, sendo que a técnica mais utilizada para quantificação e avaliação da vegetação urbana tem sido a elaboração de índices.

Boa Vista é uma cidade caracterizada por altas temperaturas, e ao longo do tempo tem perdido parte de sua vegetação devido ao processo de urbanização. Esse fenômeno é de suma importância para a promoção de sombreamento e conforto térmico. Nesse contexto, buscou-se compreender e justificar essas alterações por meio da quantificação das áreas verdes na área em estudo, assim como obter um índice de área verde urbana para o bairro Jardim Caranã, utilizando ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, a fim de orientar as políticas públicas de gestão territorial e ocupação do solo, considerando o desenvolvimento urbano da cidade e atendendo aos valores mínimos de referência da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU). Portanto, foram determinados os índices de áreas verdes (IAV) e o índice de cobertura vegetal (ICV) na área urbana do bairro.

O IAV representa a quantidade de espaços livres de uso público, expressa em quilômetros quadrados (km²) ou metros quadrados (m²), dividida pela quantidade de habitantes de uma cidade. Para obter o ICV, foi necessário mapear toda a cobertura vegetal do bairro e quantificá-la em m² ou km². Após determinar a área total estudada, em m² ou km², calculou-se a porcentagem de cobertura vegetal presente nessa área.

Os cálculos desses índices foram baseados nas metodologias de Harder, Ribeiro e Tavares (2006), e de Silva, Santos e Oliveira (2016) que consideraram, para o cálculo do IAV, as áreas verdes das praças existentes no bairro. No entanto, o bairro Jardim Caranã, apesar de ser residencial, não possui praças. Por isso foram utilizados dois espaços que não estão edificados.

Assim, para calcular o IAV do bairro Jardim Caranã, somam-se as áreas verdes existentes no bairro, expressas em metros quadrados (m²), e divide-se pelo número de habitantes da área do bairro, conforme a seguinte equação 1:

$$IAVT = \frac{\sum \text{das áreas verdes no bairro } (m^2)}{Número\ de\ habitantes\ do\ bairro} \quad (1)$$

Para calcular o índice de cobertura vegetal foi realizada a somatória das áreas de copa (m²) do bairro, dividido pelo número de habitantes da área, utilizando-se para isto da seguinte equação 2:

$$ICV = \frac{\sum \text{de áreas das copas } (m^2)}{Número\ de\ habitantes\ do\ bairro} \quad (2)$$

Índices urbanísticos de áreas verdes - IAV

Durante as visitas realizadas ao bairro, foi possível perceber que ele era altamente urbanizado. Verificou-se a inexistência de praças na área, e apenas dois espaços não edificados foram encontrados (figura 1), que estavam dentro dos padrões citados anteriormente por Silva, Santos e Oliveira (2016).



Figura 1: Áreas livres identificadas no bairro.
Fonte: RCCaleffi (2023)

Índice de área verde (IAV)

Para calcular o IAV do bairro Jardim Caranã, foram consideradas duas hipóteses. Na primeira, foram consideradas as duas áreas livres existentes no bairro. Na segunda hipótese, foi utilizada apenas a área de 3.532,00 m² identificada como "Área institucional".

No primeiro cálculo, somou-se as áreas verdes existentes no bairro, expressas em metros quadrados (m²), e dividiu-se pelo número de habitantes da área do bairro. Isso resultou em um valor de 9,73 m²/habitante. Na segunda hipótese, o mesmo cálculo foi realizado, porém considerando apenas a área de 3.532,00 m² do terreno identificado como "Área institucional". Esse cálculo resultou em um valor de 2,58 m²/habitante. A Tabela 1 apresenta os dados obtidos nos cálculos dos índices.

Tabela 1 - Índice de Área Verde do bairro Jardim Caranã

Área Livre existente (m²)	População estimada para o bairro (hab)	IAV (m²/hab)
13.295,63	1367	9,73
3.532,00	1367	2,58

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com a classificação da SBAU, que sugere um IAV de pelo menos 15 m²/habitante, nos dois casos analisados no bairro Jardim Caranã, os resultados estão abaixo do ideal. Ressalta-se que quanto menor a quantidade de área livre, menor é o índice encontrado, contribuindo para o aumento da temperatura urbana. Outro ponto importante é que, na segunda hipótese, o valor obtido foi significativamente abaixo do indicado pela SBAU. No entanto, ao analisar os índices encontrados em outros estudos, notou-se que os valores são semelhantes. Barros et al. (2015) obteve um IAV de 1,40 m²/habitante para o total dos bairros estudados. Silva, Santos e Oliveira (2016), em um estudo realizado em praças na cidade de Gurupi, TO, encontraram um IAV de 1,46 m²/habitante. Além disso, o estudo de Harder, Ribeiro e Tavares (2006), realizado no município de Vinhedo, SP, alcançou um valor de 2,19 m²/habitante. Esses índices demonstram uma quantidade total de área livre muito abaixo do ideal para a quantidade de população existente na área, indicando características de um local amplamente urbanizado.

Índice de cobertura vegetal (ICV)

No cálculo do ICV, foram somadas as áreas de copa (em metros quadrados) do bairro, totalizando 138.670,00 m², e em seguida, dividiu-se esse valor pelo número de habitantes da área, que é 1367. Como resultado, obteve-se um ICV de 101,53 m²/habitante.

É importante ressaltar que todas as áreas de copa existentes no bairro foram consideradas, incluindo aquelas dentro dos lotes, e apenas a Área de Preservação Permanente (APP) preservada foi excluída dos cálculos.

Para esse índice, foi utilizado o valor mínimo sugerido pela Organização das Nações Unidas (ONU), que é de 12 m²/habitante de cobertura vegetal. O resultado obtido mostra que o bairro apresenta um índice elevado, o que se deve não apenas à baixa densidade populacional, mas também à presença significativa de árvores na área.

Arruda et al. (2013), apresentou um valor de ICV de 9,57 m²/habitante para o centro urbano de Mossoró, considerando quatro bairros, com uma população total de 21.433 pessoas e uma área total de copas de 205.166,60 m². A Figura 2A mostra o bairro em geral, e a Figura 2B ilustra os resultados do levantamento das copas.

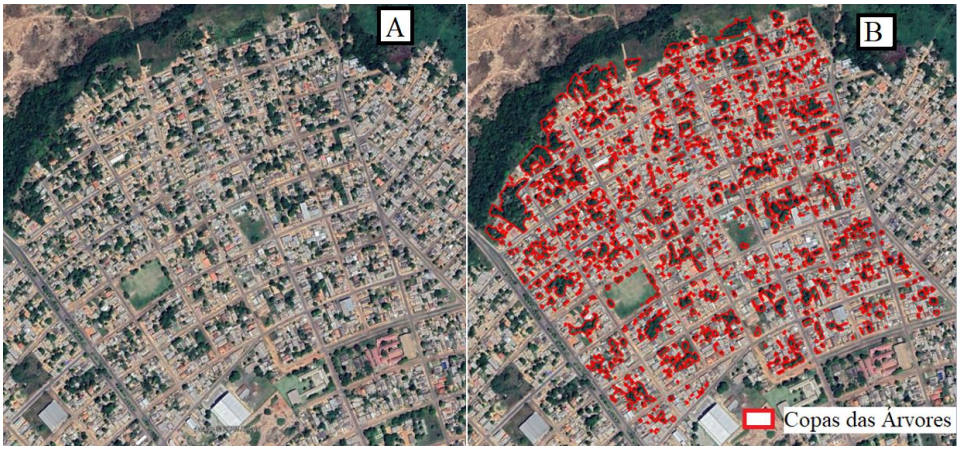


Figura 2: Copas das árvores do bairro Jardim Caranã
Fonte: Elaborado pelos autores

À medida que a densidade demográfica de um bairro ou cidade aumenta, surge a necessidade de expandir as áreas verdes, preferencialmente através do plantio de espécies arbóreas com potencial de sombreamento. Isso visa alcançar um Índice de Área Verde (IAV) por habitante que contribua para a qualidade de vida da população. Nesse sentido, destaca-se a importância de um planejamento adequado das espécies vegetais que compõem esses espaços. Optar pelo uso de espécies nativas em vez de exóticas pode trazer benefícios significativos, uma vez que o plantio de plantas nativas aumenta as áreas verdes e torna o clima urbano mais agradável.

Durante o levantamento na área, foram realizados vários questionamentos aos moradores, quanto à falta de praças ou espaços públicos para o lazer das famílias. Neste sentido, todos concordaram que desejavam ter uma praça no bairro e a maioria relatou que sente falta de um espaço público onde possam conviver com suas famílias, e que utilizam praças em bairros vizinhos.

É importante destacar que a metodologia utilizada para calcular esses índices foi aplicada principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. Roraima, localizado na região Norte do Brasil, na porção noroeste da Amazônia, possui características distintas das outras regiões brasileiras. Não foram encontrados trabalhos realizados especificamente na região amazônica para subsidiar esta pesquisa. No entanto, independentemente dessas diferenças, é fundamental obter esses índices, pois a pesquisa nessa área é crucial para subsidiar políticas e ações voltadas para a preservação, expansão e melhor uso das áreas verdes, contribuindo para a qualidade de vida das pessoas e a conservação do meio ambiente.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Federal de Roraima e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Arruda, L. E. V.; Silveira, P. R. S.; Vale, H. S. M.; Silva, P. C. M. 2013. Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró, RN. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, p. 13-17.

BARROS, A. S.; MATOS, R. M.; SILVA, P.F.; DANTAS NETO, J. 2015. Índices de áreas verdes públicas no perímetro central da cidade de Juazeiro do Norte – CE. Revista Brasileira de Geografia Física. v.08, n.04, p. 1273-1280.

CAPORUSSO, D.; MATIAS, L. F. 2008. Áreas Verdes Urbanas: Avaliação e Proposta Conceitual. In: Simpósio de Pós-Graduação em Geografia, 1. Rio Claro. Anais...São Paulo.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCCHIA, P. C. D. 1992. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: IV Encontro nacional sobre arborização urbana, Vitória. Anais... Vitória, p. 29-38.

HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. C. S.; TAVARES, A. R. 2006. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 277-282.

LIMA NETO, E. M.; RESENDE, W. X.; SENA, M. G. D.; MELO, R. 2007. Análise das Áreas Verdes das Praças do Bairro Centro e Principais Avenidas da Cidade de Aracaju-SE. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. v. 2, n. 1, p. 17-33.

MILANO, M. S.; DALCIN, E. 2000. Arborização de vias públicas. Rio de Janeiro: Light.

SILVA, A. D. P.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, L. M. 2016. Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO. Floresta, 46(3), 353-362.

PERCEPÇÃO DA COMUNIDADE EM RELAÇÃO À ZONA COSTEIRA: IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

1Lauanne Oliveira Pimentel, 2Carla de Abreu D'Aquino, 3Kátia Cilene Rodrigues Madruga, 4Carlyle Torres Bezerra de Menezes

1Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: lauanne.p@hotmail.com; 2Universidade Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: carla.daquino@ufsc.br; 3Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: katiamadruga08@gmail.com; 4Universidade do Extremo Sul Catarinense, e-mail: cbm@unesc.net

Palavras-chave: Políticas públicas ambientais; Zona costeira; Santa Catarina.

Introdução

As zonas costeiras são áreas de grande valor socioeconômico e ambiental, desempenhando um papel importante na sustentabilidade e fornecendo diversos serviços ecossistêmicos (Portman *et al.*, 2012; Taveira-Pinto *et al.*, 2020). O Brasil possui aproximadamente 8.000 km² de costa (Andrés *et al.*, 2018), abrigando uma diversidade de ecossistemas, como manguezais, estuários e dunas. Esses ambientes são fundamentais para a conservação da biodiversidade e para a manutenção dos recursos pesqueiros, bem como para a manutenção e reprodução dos modos de vida dos povos e comunidades tradicionais, tais como as comunidades de pescadores e pescadores artesanais (Silva, 2000; Menezes *et al.*, 2019). No entanto, a gestão desses territórios enfrenta limitações, principalmente, quando os conceitos ambientais não são amplamente compreendidos pela população.

No município de Araranguá, SC, a gestão ambiental apresenta fragilidades que comprometem a conservação dos recursos naturais. Três Unidades de Conservação (UCs) foram criadas ao longo dos anos, mas acabaram sendo canceladas ou abandonadas, deixando áreas sensíveis desprotegidas e sem fiscalização adequada. Atualmente, o município conta apenas com duas UCs oficialmente reconhecidas: a Reserva Extrativista (RESEX) do rio Araranguá e o Monumento Natural (MONA) Morro dos Conventos. A Área de Proteção Ambiental (APA) do Morro dos Conventos foi extinta, e não há comitê gestor nem plano de manejo vigente para as unidades remanescentes. A falta de continuidade e estrutura nas políticas públicas ambientais comprometem a proteção efetiva dos ecossistemas e também a percepção da população quanto à importância da preservação.

Diante desse cenário, parte-se da hipótese de que o desconhecimento sobre os territórios costeiros reduz o senso de pertencimento da população, resultando em menor envolvimento em sua conservação. Considerando que as pessoas tendem a cuidar melhor do que conhecem e valorizam, torna-se essencial investir em estratégias de educação ambiental que fortaleçam a relação entre sociedade e meio ambiente.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a percepção da comunidade local sobre os conceitos de zona costeira e estuário, buscando identificar lacunas no entendimento e promover o diálogo sobre a gestão sustentável desses recursos.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no município de Araranguá (28°56'05" S e 49°29'09" O), localizado no Extremo Sul de Santa Catarina, Brasil. A pesquisa foi baseada em um questionário estruturado (Tabela 1), aplicado entre 2017 e 2020, com uma amostra de 691 indivíduos. Para assegurar a representatividade da amostra em relação à população, utilizou-se o cálculo proposto por Triola (1999), que demonstrou ser suficiente uma amostra de 385 indivíduos para garantir significância estatística. Os dados foram organizados no Excel e analisados por meio de tabelas dinâmicas, com o objetivo de identificar padrões a partir das variáveis socioeconômicas de escolaridade e faixa etária. Salienta-se que os estudos de Arruda *et al.* (2018), D'Aquino *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2019) apresentaram resultados parciais dessa pesquisa, mas nenhum abordou a amostra completa. Por ser uma pesquisa de opinião não identificada, enquadra-se no artigo 1º da Resolução nº 510 (2016), não precisando de cadastro ou avaliação pelo sistema CEP/CONEP.

Tabela 1 - Perguntas realizadas aos participantes do questionário.

Pergunta	Tipo de resposta	Complementação da pergunta
1. Você mora em Araranguá?	Resposta direta (Sim ou Não)	
2. Qual é sua faixa etária?	Múltipla escolha com 5 alternativas	
3. Qual a sua escolaridade?	Múltipla escolha com 7 alternativas	
4. Você sabe o que é zona costeira?	Resposta direta (Não, Já ouvi falar ou Sim)	Caso sua resposta tenha sido sim, cite três palavras que no seu conceito possam estar relacionadas com a zona costeira.

5. Você sabe o que é um estuário?	Resposta direta (Não, Já ouvi falar ou Sim)	Caso sua resposta tenha sido sim, cite três palavras que no seu conceito possam estar relacionadas à estuário.
6. Você já ouviu falar em sustentabilidade?	Resposta direta (Não, Já ouvi falar ou Sim)	Caso sua resposta seja sim, cite três palavras que no seu conceito possam definir sustentabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores

Resultados e Discussão

A amostra foi majoritariamente composta por jovens de 15 a 24 anos (41,0%) e por indivíduos com escolaridade até o ensino médio (33,4%). Os resultados indicaram que 65,1% dos moradores de Araranguá afirmaram saber ou já ouviram falar sobre zona costeira. Cerca de 34,9% dos moradores não sabem o que é zona costeira, percentual semelhante ao estudo de D'Aquino *et al.* (2018), que também encontrou mais de 30% de desconhecimento. O conhecimento sobre zona costeira é mais elevado entre pessoas com ensino superior (6,9%) e pós-graduação (6,8%), enquanto o desconhecimento predomina entre os níveis fundamental (16,9%) e médio (11,7%). Em relação à faixa etária, o grupo de 15 a 24 anos apresenta o maior índice de desconhecimento (19%), enquanto a faixa de 35 a 44 anos demonstra maior familiaridade com o tema, indicando que o conhecimento ambiental tende a aumentar com a escolaridade e a idade.

O município de Araranguá, com características estuarinas, foi analisado também em relação ao conhecimento da população sobre estuários. Os resultados mostraram que 76,6% dos moradores de Araranguá não sabem o que é um estuário, alinhando-se aos dados de D'Aquino *et al.* (2018), que encontraram 70,6% de desconhecimento. O conhecimento sobre estuários aumenta com a escolaridade: 2,9% dos entrevistados com ensino superior e 3,8% com pós-graduação afirmaram saber o que é um estuário. Já o desconhecimento é elevado entre pessoas com ensino médio (28,1%) e fundamental (27,1%), evidenciando a importância de incluir temas ambientais nos currículos desde os níveis iniciais. Entre os jovens de 15 a 24 anos, 34,2% disseram não saber o que são estuários, sendo essa a faixa etária com maior desconhecimento. Verifica-se que à medida que a idade avança, o desconhecimento diminui, reforçando a necessidade de campanhas educativas voltadas especialmente aos mais jovens, visando fortalecer o pertencimento e a preservação desses ecossistemas essenciais.

Levando em consideração o exposto, nota-se que os dados reforçam a urgência de ampliar ações de educação ambiental nas escolas e entre os jovens, visando construir uma cultura de valorização dos ecossistemas locais. No entanto, além da sensibilização da população, é imprescindível enfrentar entraves estruturais relacionados à gestão ambiental. Entre os principais problemas está a falta de transparência e continuidade das políticas públicas voltadas às UCs, muitas vezes criadas sem planejamento e abandonadas posteriormente, o que compromete os objetivos de preservação. No caso de Araranguá, houve grande dificuldade em montar e manter um comitê gestor para as UCs. Essa realidade evidencia uma gestão fragmentada e desarticulada entre os diferentes níveis de governo.

Areia *et al.* (2023) defendem que a gestão costeira deve ser participativa, envolvendo a população nas decisões para fortalecer o senso de pertencimento e engajamento na conservação. A inclusão social na governança ambiental, por meio de programas de educação e mecanismos de participação pública, tem se mostrado eficaz em outras regiões, como apontam Rodríguez-Segura *et al.* (2023). Esses modelos destacam que o fortalecimento da cidadania ambiental, aliado à atuação integrada dos órgãos públicos, pode promover avanços significativos na proteção dos ecossistemas costeiros e estuarinos.

Dessa forma, observa-se que o desconhecimento representa um entrave à preservação e conservação ambiental. Quando a comunidade conhece o ambiente em que vive, estabelece uma relação de pertencimento, a qual favorece o reconhecimento dos serviços ecossistêmicos prestados pelo meio ambiente. Quem pertence, reconhece, valoriza e cuida. Isso favorece a participação da comunidade em ações e políticas públicas que direcionam a sustentabilidade.

Conclusão

A pesquisa demonstrou que a falta de conhecimento da população sobre os conceitos ambientais compromete a gestão e preservação da zona costeira e dos estuários de Araranguá. A criação e abandono de UC mostram a fragilidade da gestão municipal e a falta de planejamento a longo prazo. Para reverter esse cenário, é essencial investir em educação ambiental e fortalecer a participação cidadã na formulação de políticas ambientais.

A promoção de campanhas educativas pode ampliar a compreensão sobre os ecossistemas costeiros e suas funções ecológicas, incentivando a população a atuar como agente de proteção. Ademais, é necessário um planejamento integrado entre os órgãos ambientais municipais, estaduais e federais para garantir a efetividade das políticas de conservação. Somente com o envolvimento da sociedade e a implementação de uma gestão participativa poderemos assegurar a proteção dos recursos naturais para as futuras gerações.

Agradecimentos

Os Autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Agradecem, também, ao Laboratório de Energias Renováveis e Aceitação Social (LabERAS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo suporte na aplicação do questionário.

Referências Bibliográficas

Andrés, M., Barragán, J. M., & Scherer, M. (2018). Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage? *Land Use Policy*, 71, 121–128. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.038

Areia, N. P., Alexandre Oliveira Tavares, & Pedro J.M. Costa. (2023). Public perception and preferences for coastal risk management: Evidence from a convergent parallel mixed-methods study. *Science of The Total Environment*, 882, 163440–163440. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163440

Arruda, G. S., Cristiano, S. C., Pastorini, C., Aguiar, A. F., Moraes, C. D., Sung, C. L., & D'Aquino, C. A. (2018). A fixação da barra do rio Araranguá e o Balneário de Ilhas sob a perspectiva da comunidade local. In Anais do VIII Encontro da Rede BRASPOR, Rio Grande, Rio Grande do Sul.

D'Aquino, C. A., Arruda, G. S., Hingst, T. Cristiano, S. C., & Sung, C. L. (2018). Percepção da comunidade de Araranguá (SC, Brasil) quanto aos conceitos de zona costeira, estuário e sustentabilidade. In II SBPA / XI ENCOGERCO. Florianópolis, Santa Catarina.

D'Aquino, C. A., Scharlau, C. C., & Vecchia, L. C. D. (2019). Evaluation of the energy extraction of a small-scale wave energy converter. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24. https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180030

Menezes, C. T. B.; Ceni, G.; Martins, M. C.; Virtuoso, J. C. (2019). 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.

Portman, M. E., Esteves, L. S., Le, X. Q., & Khan, A. Z. (2012). Improving integration for integrated coastal zone management: An eight country study. *Science of the Total Environment*, 439, 194–201. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.016

Resolução nº 510, de 07 de abril de 2016. (2016). Recuperado em 01 de abril, 2024, de https://conselho.saude.gov.br/Resolucoes/2016/Reso510.pdf

Rodríguez-Segura, F. J., Osorio-Aravena, J. C., Frolova, M., Terrados-Cepeda, J., & Muñoz Cerón, E. (2023). Social acceptance of renewable energy development in southern Spain: Exploring tendencies, locations, criteria and situations. *Energy Policy*, 173, 113356. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113356

Silva, L. L. L., Cristiano, S. C., Sung, C. L., Rosa, F. R., & D'Aquino, C. A. (2019). Percepção da comunidade de Araranguá (SC, Brasil) sobre energias renováveis. In 8º SICT Sul, Santa Rosa do Sul, Santa Catarina.

Silva, M. C. (2000). Estuários – Critérios para uma classificação ambiental. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(1), 25-35. https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n1.p23-35

Taveira-Pinto, F., Paulo Rosa-Santos, & Tiago Fazeres-Ferradosa. (2020). Nota Editorial - Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP - Parte 1. *Gestão Costeira Integrada*, 20(2), 85–87. https://doi.org/10.5894/rgci-n390

Triola, M. F. (1999). Introdução à Estatística. 7ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Políticas Públicas, Legislação e Meio Ambiente

8º SSS

O PACTO PELA GOVERNANÇA DA ÁGUA NO BRASIL: PERSPECTIVAS E DESAFIOS

1Marcelle Maria Gois Lima, 2Taís Cristiani, 3Mariana Rodrigues Ribeiro dos Santos
1Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e-mail: marcelleglima@hotmail.com; 2Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e-mail: taiscristiani@gmail.com; 3Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e-mail: mrrs@fec.unicamp.br

Palavras-chave: gestão; saneamento; recursos hídricos.

Resumo:

O Pacto pela Governança da Água é uma forma de integrar esforços entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e as Unidades Federativas (UFs). Estruturado em torno de eixos como a gestão hídrica, saneamento básico e segurança de barragens, o Pacto busca promover uma governança descentralizada, integrada e adaptada às especificidades locais. Este trabalho visa identificar os principais projetos e ferramentas que são abrangidos pelo Pacto e debater as possíveis perspectivas e desafios da sua implementação. Para isso, foi feita a revisão da literatura e análise de documentos emitidos por entidades públicas brasileiras, visando detalhar e compreender melhor os principais projetos e ferramentas que estão incluídos no Pacto e foi debatido o cenário de sua implementação. Foram identificados diversos programas, projetos e ferramentas que já estão em vigor no país que têm o potencial, sob a coordenação da ANA, de desenvolver-se com maior efetividade. Há que se considerar a pluralidade brasileira, em que diferentes estados têm distintos graus de maturidade na gestão da água e do saneamento básico e a capacidade dos estados/municípios em fornecerem informações consistentes, para realização do planejamento adequado. Ademais, dados do meio rural são imprecisos ou ausentes. Soma-se a isso, à vulnerabilidade dos sistemas hídricos brasileiros e as limitações de planejamento; tanto de saneamento, quanto de recursos hídricos. Além disso, desafios a serem considerados, como a recursos financeiros reduzidos e, consequentemente, de pessoas, estrutura física e técnica para sua implementação e acompanhamento. Assim, o pacto é fundamental para a gestão dos diversos programas, projetos e ferramentas, mas deve ter em mente o cenário em que se encontra para que seja efetivo.

Introdução

A gestão da água e do saneamento básico são desafios em todo o território brasileiro, onde profundas desigualdades regionais e estruturais comprometem essa gestão e acesso, no caso do saneamento. Embora a água seja reconhecida como um direito humano fundamental, a realidade brasileira expõe disparidades marcantes: enquanto regiões como o Sudeste registram índices de cobertura superiores a 90%, o Norte do país atende apenas 58% de sua população com serviços básicos de abastecimento (ARAÚJO et al., 2022).

Historicamente, as políticas públicas internacionais de gestão de serviços de água e saneamento têm oscilado entre modelos públicos e privados, refletindo paradigmas econômicos e sociais distintos. Durante as décadas de 1980 e 1990, a privatização foi predominante, impulsionada pelo neoliberalismo, que tratava a água como commodity e priorizava eficiência econômica e expansão em áreas de maior rentabilidade. Contudo, a partir do início do século XXI, diversos países começaram a reverter essas políticas. Na Europa, cidades como Paris e Berlim remunicipalizaram seus serviços, respondendo a falhas como tarifas elevadas e falta de transparência. Nos Estados Unidos, onde 86% da população já era atendida por sistemas públicos, processos semelhantes ocorreram em cidades como Atlanta e Indianápolis. Já em países em desenvolvimento, como a Bolívia, iniciativas privatizantes enfrentaram forte resistência popular, como na "Guerra da Água" em Cochabamba, que evidenciou os limites do modelo privatizador frente aos desafios da universalização e equidade no acesso aos serviços (DOS SANTOS e DOS SANTOS, 2022).

As políticas públicas no cenário internacional têm oscilado historicamente entre modelos de gestão pública e privada. O Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) buscou impulsionar a participação do setor privado como estratégia para ampliar a cobertura e a eficiência dos serviços. No entanto, experiências internacionais demonstram que a privatização pode gerar consequências negativas, como tarifação excessiva, metas tímidas de universalização e exclusão de populações vulneráveis. Em resposta, tem emergido uma tendência global de "reestatização" ou "remunicipalização" dos serviços de água e saneamento, movida por falhas regulatórias e insatisfação popular com o modelo privatizador (DOS SANTOS e DOS SANTOS, 2022).

Nesse contexto, o Pacto pela Governança da Água, instituído pela Resolução ANA nº 153/2023, representa uma tentativa de integrar esforços entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e as Unidades Federativas (UFs). Estruturado em torno de eixos como a gestão hídrica, saneamento básico e segurança de barragens, busca promover uma governança descentralizada, integrada e adaptada às especificidades locais (ANA, 2023a). No âmbito do saneamento, o Pacto busca aprimorar e harmonizar a regulação dos serviços, fortalecendo a governança e capacitando as entidades reguladoras infranacionais — municipais, intermunicipais, estaduais e distrital — em conformidade com o novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) (ANA, 2024b).

A adesão ao Pacto é voluntária, contando com a participação dos governos estaduais e do Distrito Federal. Não há previsão de repasses financeiros adicionais entre os participantes; contudo, os contratos já firmados entre a ANA e os entes federativos permanecem vigentes. Essa abordagem reafirma o compromisso de promover uma gestão descentralizada, integrada e

compartilhada das águas brasileiras, fortalecendo a colaboração entre a ANA e as UFs. O monitoramento das ações pactuadas será realizado semestralmente pela equipe da ANA, nos meses de fevereiro e agosto. Esse acompanhamento permitirá identificar entraves na execução, propor medidas corretivas e assegurar o cumprimento das metas dentro dos prazos estipulados. Para garantir transparência e acesso às informações, a ANA disponibiliza um painel interativo em seu site, onde é possível acompanhar as metas e o plano de ação do Pacto (ANA, 2024b).

A adesão dos estados ao Pacto ocorre por meio da assinatura voluntária de um Termo de Adesão, que formaliza a inclusão de temas e iniciativas em articulação com a ANA. Esse termo também previu a celebração de instrumentos específicos para cada programa ou ação da Agência, definidos em oficinas realizadas após a adesão. Assim, o Pacto possibilita uma implementação customizada, adaptada às necessidades e às condições de cada Unidade Federativa (ANA, 2024b).

Além disso, a iniciativa visa consolidar e fortalecer as ações da ANA que já são realizadas em conjunto com as UFs. Por meio do planejamento e monitoramento contínuos, busca-se implementar os planos de recursos hídricos, gerando efeitos regulatórios positivos nas bacias hidrográficas e aprimorando a gestão integrada desses recursos (ANA, 2024b). Entende-se, portanto, neste trabalho, o Pacto como um grande guarda-chuva que abrange, organiza e acompanha diversos programas e ferramentas do âmbito do saneamento e gestão da água já existentes, visando sua efetividade. Todavia, sabe-se que o contexto brasileiro pode dificultar a implantação do Pacto: diferentes realidades em todo país, falta de recursos financeiros e agências reguladoras com práticas diferentes.

Objetivo

Este trabalho visa identificar os principais projetos e ferramentas que são abrangidos pelo Pacto pela Governança da Água brasileiro e debater as possíveis perspectivas e desafios da sua implementação.

Método

Foi feita a revisão da literatura e análise de documentos emitidos por entidades públicas brasileiras, visando detalhar e compreender melhor os principais projetos e ferramentas que estão incluídos no Pacto pela Governança da Água brasileiro. A maioria desses documentos foram encontrados no site da ANA. Em seguida, esse material foi utilizado como base para discutir possíveis perspectivas e desafios, considerando o atual cenário socioeconômico e institucional brasileiro e comparado com a literatura científica.

Resultados e discussão

Os principais projetos/programas/ferramentas que estão incluídos no Pacto pela Governança da Água são citados nas tabelas 1 e 2:

Tabela 01: Programas e projetos

Programa/Projeto	Objetivo	Estrutura e Funcionamento	Referência
Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF)	Segurança hídrica para 12 milhões de pessoas em 390 municípios do CE, PB, PE e RN.	Composto por 13 aquedutos, 9 estações de bombeamento, 28 reservatórios, 4 túneis, 9 subestações e 270 km de linhas de transmissão. Eixos Leste (PE e PB) e Norte (PE, CE, PB e RN). Regulamentado pela Resolução ANA nº 173/2023. Esse plano define critérios detalhados para a distribuição dos volumes de água, atribuindo responsabilidades específicas às operadoras estaduais e federal. Também estabelece procedimentos para a solicitação de vazões adicionais, garantindo a flexibilidade necessária para atender às demandas locais, desde que respeitados os limites máximos de operação. Outro ponto significativo da resolução é a definição de critérios para tarifas aplicáveis e valores totais a serem pagos pelas operadoras estaduais pelos serviços de adução de água bruta.	BRASIL, 2024; ANA, 2023a

Programa Produtor de Água	Incentivar práticas sustentáveis no meio rural via Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).	Conservação de nascentes, manejo do solo e recuperação de áreas degradadas em parceria com instituições públicas e privadas. A operacionalização do Programa ocorre por meio de projetos locais, desenvolvidos em parceria com instituições públicas e privadas. A ANA oferece apoio técnico e financeiro, priorizando bacias hidrográficas estratégicas para a conservação dos recursos hídricos. Destaca-se que o financiamento do programa ocorre por meio de recursos alocados pela ANA, obtidos por fundos de recursos hídricos e parcerias com instituições públicas e privadas que apoiam a implementação local dos projetos.	ANA, 2016a
Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão)	Fortalecer os sistemas estaduais de gerenciamento de recursos hídricos.	Criado em 2013 e estruturado em ciclos de 5 anos. Adesão voluntária com repasse de recursos conforme metas atingidas. As metas estabelecidas no âmbito do Progestão são classificadas em três categorias: metas de cooperação federativa, metas de gestão de águas no âmbito estadual e metas de investimentos. Segundo o Manual Operativo do programa, uma das principais inovações trazidas pelo Progestão foi a introdução de tipologias de gestão, que classificam os estados em quatro categorias (A, B, C e D) com base na complexidade de seus sistemas de gerenciamento de recursos hídricos. Essa tipificação permite que as metas definidas sejam ajustadas à realidade e à capacidade de cada estado.	ANA, 2016c; ANA, 2021; ANA, 2022b
Qualiágua	Gestão sistemática da qualidade da água.	Implementado pela ANA, com concessão financeira aos estados e DF. As metas incluem monitoramento, divulgação e estruturação de órgãos gestores. Adesão voluntária com premiação por metas atingidas.	ANA, 2016b

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 02: Ferramentas

Ferramenta	Objetivo	Funcionalidades	Referência
Sistema Federal de Regulação de Usos (REGLA)	Facilitar a solicitação de outorgas para uso de recursos hídricos de domínio da União.	Plataforma digital para solicitação e acompanhamento de outorgas, registros de captação, lançamentos de efluentes e emissão de documentos.	BRASIL, 1997; ANA, 2024d
Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH)	Registrar e gerenciar informações sobre usuários que captam água, lançam efluentes ou realizam outras interferências em corpos hídricos.	Cadastro de usuários, regularização de interferências e integração com órgãos estaduais.	ANA, 2025a
Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)	Coletar, tratar, armazenar e recuperar informações sobre recursos hídricos no Brasil.	Monitoramento hidrológico, qualidade da água, cadastro de usuários e suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos.	ANA, 2025b
Monitor de Secas	Acompanhar a gravidade das secas no Brasil com base em indicadores climáticos e impactos.	Classificação de secas em cinco graus, produção de mapas mensais e integração com mais de 40 instituições.	ANA, 2024c

Salas de Situação	Monitorar e antecipar eventos críticos relacionados aos recursos hídricos.	Análise de chuvas, níveis e vazões de rios e reservatórios, integração com órgãos estaduais e Defesa Civil.	ANA, 2025c
Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR)	Acompanhar e divulgar dados operativos dos reservatórios brasileiros.	Monitoramento dos reservatórios por meio de três módulos: SIN, Nordeste e Semiárido, e Outros Sistemas Hídricos.	ANA, 2022
Sistema Nacional de Segurança em Barragens (SNISB)	Consolidar dados sobre barragens e garantir a segurança hídrica nacional.	Classificação das barragens por risco e dano potencial, fiscalização e emissão de relatórios anuais.	ANA, 2025d

Fonte: Elaborado pelos autores

Como é possível notar, diversos projetos/programas/ferramentas já existentes dão suporte às ações de implementação e monitoramento do Pacto pela Governança da Água. Há que se considerar, para a implementação de um Pacto desse porte, a pluralidade brasileira, em que diferentes estados têm distintos graus de maturidade na gestão da água e do saneamento básico - o Qualiágua, por exemplo, tem diferentes classificações, para o estabelecimento das metas.

Nesse sentido, Araújo et al. (2022) analisaram dados do SNIS e Sisgua de 2019 e identificaram que cerca de 83,7% da população total e 93% da população urbana são atendidos por Sistemas de Abastecimento de Água no Brasil. Todavia, os autores observaram que pelo menos entre 85-90% da população regional era atendida nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste; enquanto que nas regiões Nordeste e Norte, respectivamente 73,9 e 58% da população regional possuía abastecimento de água no ano de 2019. De acordo com os dados obtidos por Araujo et al. (2022), pode-se perceber a significativa diferença de atendimento entre as regiões. Os autores indicam, para atenuar tal cenário, uma maior atenção e investimentos no saneamento básico nas regiões Norte e Nordeste, de maneira a atenuar tal discrepância. Todavia, cabe aqui questionar tanto a capacidade dos estados/municípios em fornecerem informações relativas às águas e saneamento consistentes, para realização do planejamento assertivo e condizente com a realidade da atual qualidade da água no Brasil.

Destaca-se, que dados do meio rural são imprecisos ou ausentes (KUWAJIMA, 2023). Soma-se a isso, a vulnerabilidade dos sistemas hídricos brasileiros e as limitações de planejamento, tanto de saneamento, quanto de recursos hídricos. Para encontrar caminhos que permitam contornar tal situação, é necessária uma combinação do conhecimento sobre estratégias de gestão adaptativa, trade-offs, diversificação, visão de futuro, integração dos sistemas, soluções baseadas na natureza, pesquisa e criação de salvaguardas, sendo, portanto, necessário compreender os problemas dos recursos hídricos e planejar as políticas públicas (DALCIN, POSSANTI, SOUZA E FEDRIZZI, 2020).

Além disso, a gestão dos recursos hídricos é realizada por bacia hidrográfica, já a gestão do saneamento básico, por município ou por prestação regionalizada (BRASIL, 2007; 2020). Há que alinhar as esferas de gestão, para que caminhem na mesma direção. Outro ponto que tem sido debatido é a possível privatização do setor de saneamento, devido às novas orientações estabelecidas pela legislação. Para dos Santos e dos Santos (2022), os interesses do setor privado divergem do setor público. Enquanto o primeiro visa o lucro, que provavelmente não ocorrerá neste primeiro momento, o segundo visa o bem comum e está comprometido com metas a curto prazo. Os autores também destacam a experiência europeia e americana de re-publicizações, após um período de privatização nas décadas de 80 e 90. Assim, se o Brasil seguir essa tendência internacional, após as próximas décadas, o saneamento voltará a ser um setor de ordem pública. Até lá, fica o receio da instabilidade jurídica e econômica do setor, o que caso se confirme, resultará em dificuldade de obter investimentos, recursos fundamentais para a universalização.

Mais um aspecto a se considerar na implementação do pacto é que muitos estados podem se dispor a implementar o programa, mas algumas barreiras podem ser encontradas, como falta de recursos financeiros e, consequentemente, de pessoas, estrutura física, técnica para sua implementação e acompanhamento.

De acordo com Capobianco et al. (2023), nos últimos 6 anos, o investimento público na água e esgotamento sanitário vêm diminuindo e que a mudança do perfil público para o privado não tem sido acompanhada do aumento de investimentos necessários para a universalização do saneamento básico em 2033. O trabalho apontou a necessidade do investimento estatal, pois os autores consideram que o direito da população brasileira ao acesso à água e à saúde são responsabilidade do Estado, onde as fontes de receita privada e pública devem ser complementares e o Estado deve ser protagonista no planejamento e investimento do setor (CAPOBIANCO et al., 2023).

Todavia, se essa linha de pensamento for seguida, de onde virão recursos financeiros para o Estado realizar tal investimento, se o valor obtido com as taxas cobradas pelas Companhias de abastecimento de água e esgotamento sanitário passarem a ser recebidas por empresas privadas? Cabe aqui refletir se os interesses privados são os mesmos dos Estatais e se, com as recentes mudanças na Política Nacional de Saneamento Básico, haverá a priorização da saúde e bem estar de toda a população, independente de classe social ou poder aquisitivo.

Santos e Mendes (2023) também questionam qual será a origem dos recursos para a universalização do saneamento básico brasileiro. Os autores analisaram dados do SINIS e apontaram que a maior parte do investimento no saneamento na última década foi realizada pelas Companhias prestadoras de serviço e não pelo estado e município.

Para além de aspectos financeiros, há a necessidade de atuação conjunta de diversos atores: setor privado e público, sociedade civil e organismos internacionais. As concessionárias do saneamento prevaleceram na prestação do serviço nas últimas décadas e possuem a estrutura institucional consolidada. Por outro lado, empresas privadas, que até então atuavam de forma menos significativa, com a sanção da Lei n. 14.026/2020, espera-se que possuam maior atuação no setor (ROLAND, 2022). Assim, espera-se que nos próximos anos haja um amadurecimento estrutural do setor privado e gradual redução da atuação pública no setor, de forma que ambos os setores atuem fortemente de forma concomitante.

A participação pública está prevista na Política Federal de Saneamento Básico por meio de consultas e audiências públicas realizadas pela ANA (BRASIL, 2020). Ademais, contratos que tenham por objeto a prestação de serviços públicos de saneamento básico necessitam da realização prévia de audiência e de consulta pública sobre o edital de licitação, no caso de concessão, e sobre a minuta do contrato (BRASIL, 2007).

Destaca-se, aqui, que apesar da legislação brasileira determinar tais caminhos, se faz necessário que a população se interesse em participar ativamente da construção das políticas públicas do setor, e acompanhem também o processo de sua implementação, consequências e resultados.

Por último, há que considerar que organismos internacionais também se fazem fundamentais nesse conglomerado, por diversos motivos. O primeiro deles é a fonte de investimentos financeiros. Outro é que a política pública internacional, as legislações, os acordos entre países influenciam direta e indiretamente nos caminhos institucionais e socioculturais brasileiros.

Conclusões/Recomendações

Espera-se, com este trabalho, contribuir com a discussão a respeito dos próximos passos da gestão das águas e saneamento básico brasileiro. Nesse sentido, o Pacto pela Governança da Água é um grande guarda-chuva que abrange diversos programas, projetos e ferramentas na gestão de água e saneamento. Com a implementação do pacto, a ANA visa acompanhar o desenvolvimento da UFs nesses programas, estabelecendo prioridades e metas para cada UF, de acordo com seu grau de desenvolvimento.

Os principais projetos e ferramentas que são abrangidos pelo Pacto pela Governança da Água brasileiro foram abordados por este trabalho e as possíveis perspectivas e desafios da sua implementação, discutidas.

Alguns pontos devem ser levados em consideração, ao implementar o Pacto. O primeiro deles é a pluralidade de realidades que existem no país, que devem ser levadas em consideração, tanto no processo de implementação, quanto ao estabelecer metas. O segundo ponto são as limitações financeiras, de informações consistentes e estrutura física. Em terceiro lugar, cabe ter em conta a vulnerabilidade dos sistemas hídricos brasileiros e que a gestão dos recursos hídricos é realizada por bacia hidrográfica e a gestão do saneamento básico, por município ou por prestação regionalizada. Sendo assim, é necessário saber como trabalhar com diferentes domínios, de recursos que podem ser interdependentes.

Cabe também considerar as mudanças que estão ocorrendo atualmente no setor do saneamento básico, após a ANA passar a abrangê-lo, e com a sua possível privatização, nos próximos anos. É preciso estar preparado para essa provável mudança de cenário. Ademais, os setores da água e saneamento possuem diversos atores, que devem operar na mesma direção - sociedade, organismos internacionais e governo devem ter o mesmo norte.

Como pôde ser constatado neste trabalho, alguns aspectos devem ser levados em consideração quando se pensa na implantação do Pacto pela Governança da Água. Ainda assim, o Pacto é uma importante iniciativa para no processo de implementação diferentes instrumentos públicos do país, de forma que elas sejam monitoradas e acompanhadas.

Referências Bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas. **Programa Produtor de Água.** Brasília, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/ana. Acesso em: 26 nov. 2016a.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 643, de 27 de julho de 2016.** Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA e dá outras providências. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-qualiagua/6432016.pdf. Acesso em: 01 dez. 2016b.

ANA. Agência Nacional de Águas**. PROGESTÃO: Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas**. Brasília, 2016. Disponível em: https://progestao.ana.gov.br/progestao-1/o-programa/apresentacao. Acesso em: 10 jan. 2025. 2016c.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução nº 153, de 26 de abril de 2023.** Institui o Pacto pela Governança da Água e dispõe sobre suas diretrizes gerais. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2023/153. Acesso em: 26 nov. 2024. 2023a.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN)**. Disponível em:. https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/f85dbf06-a869-414c-afc5-bb01869e9156. Acesso em: 10 jan. 2025. 2023b.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual Operativo do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – Progestão**. Brasília, 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR).** Brasília, 2022a.

ANA. **Resolução nº 135, de 07 de dezembro de 2022**. Institui o Terceiro Ciclo do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas - Progestão. Disponível em:https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2022/135 . Acesso em:10 jan. 2025.2022b.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Pacto pela governança da água – implementação - livreto.** Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/arquivos-externos/implantacao-v-final.pdf/view. Acesso em: 26 nov. 2024a.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Pacto pela governança da Água – livreto.** 2024. Disponível em: /https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/governanca_e_gestao_estrategica/cartilha-pacto-pela-governanca-da-agua.pdf. Acessado em 03 de nov de 2024. 2024b.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Monitor de secas.** Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/eventos-criticos/monitor-de-secas. Acessado em 17 de nov de 2024. 2024c.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Sistema Federal de Regulação de Uso (REGLA) Águas**. Disponível em: https:https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/sistema-federal-de-regulacao-de-uso-regla-voltou-a-funcionar-na-segunda-27. Acesso em: 10 jan. 2025. 2024d.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH)**. Disponível em:. https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/cadastro-nacional-de-usuarios-recursos-hidricos-cnarh Acesso em: 10 jan. 2025. 2025a.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).** Disponível em:. https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/sistema-de-informacoes-sobre-recursos-hidricos. Acesso em: 10 jan. 2025. 2025b.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Monitoramento e eventos críticos: eventos críticos.** Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/eventos-criticos. Acesso em: 12 jan. 2025.2025c.

ANA. Agência Nacional de Águas**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens**. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br. Acesso em: 12 jan. 2025.2025d.

ARAUJO, L. F. D., CAMARGO, F. P., TORRES NETTO, A., VERNIN, N. S., & Andrade, R. C. D. (2022). **Análise da cobertura de abastecimento e da qualidade da água distribuída em diferentes regiões do Brasil no ano de 2019**. *Ciência & Saúde Coletiva*, *27*, 2935-2947. 2022.

BRASIL. **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.

BRASIL. **Lei n. 11.445 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.Brasília, 2007.

BRASIL. **Lei n. 9974. 17 de julho de 2000.**Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).** Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/seguranca-hidrica/projeto-de-integracao-do-rio. Acesso em: 26 nov. 2024.

CAPOBIANCO, J. P. R. et al. Saneamento básico no Brasil: perfil do investimento público para a universalização e promoção do direito humano à água. 2023.

DALCIN, A. P.; M., G. F.; POSSANTI, I.; SOUZA, G. G, FEDRIZZI, N. V.; CASTRO, C. M. S. N. Vai ter água? Caminhos para a adaptação dos sistemas hídricos ao futuro incerto. In: Congresso Internacional de Engenharia Ambiental (CIEA) e 10 Reunião de Estudos Ambientais (REA), 2020, Porto Alegre. ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais. Volume 2

DOS SANTOS, B. S.; DOS SANTOS, J. de C. **Reestatização de serviços públicos de saneamento básico**. In: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares. 2022. p. 1-8.

KUWAJIMA, J. I. et al. Indicadores do ODS 6: importância e divergências metodológicas nas primeiras medições. Desenvolvimento e meio ambiente. 2023.

SANTOS, G. R. dos; MENDES, A. T. Dados e indicadores dos serviços de água e esgotamento sanitário no Brasil. 2023.

ROLAND, V. L. M. O aspecto ideacional como fator constrangedor das estratégias de lobby na aprovação do novo Marco

Regulatório do Saneamento Básico no Brasil. ***Sociologias Plurais***, v. 8, n. 2, 2022.

COOPERATIVAS E SUSTENTABILIDADE: CONTRIBUIÇÕES PARA OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

1Elka Ojeda, 2Pedro Pinheiro, 3Raquel Holt

1Universidade Federal de Pelotas, e-mail:ojedaelka@gmail.com ; 2Universidade UFPel, e-mail: pedrohotelaria@hotmail.com;3Universidade Federal de Pelotas, e-mail: raqfh74@gmail.com

Palavras-chave: Cooperativismo, Sustentabilidade, Inclusão Socioprodutiva.

Resumo

A sustentabilidade tem sido abordada de forma crescente como um princípio orientador para políticas públicas e modelos organizacionais alternativos ao desenvolvimento convencional. Neste contexto, o cooperativismo emerge como uma estratégia potencial para a promoção da justiça social, da inclusão produtiva e da valorização de saberes locais, especialmente em territórios vulneráveis da Amazônia. Este estudo adota uma abordagem exploratória e descritiva, visando mapear as contribuições e limites das cooperativas frente aos desafios da sustentabilidade, a partir de uma triangulação metodológica entre revisão sistemática da literatura (2020–2024) e análise qualitativa de dados secundários. Os dados foram extraídos de publicações acadêmicas indexadas e estudos de caso documentados no município de Parauapebas (PA), território fortemente impactado pela atividade mineradora. A análise revelou três dimensões interdependentes nas ações cooperativistas: inclusão socioprodutiva, valorização sociocultural e práticas ambientais incipientes. Os resultados indicam uma predominância das dimensões social e econômica nas abordagens atuais, com menor ênfase na sustentabilidade ambiental, além da ausência de articulações teóricas mais robustas entre cooperativismo e sustentabilidade. O estudo evidencia lacunas relevantes na literatura, contribuindo para a construção de agendas de pesquisa mais integradas e críticas sobre formas organizativas sustentáveis em regiões periféricas.

Introdução

A busca por novos paradigmas de desenvolvimento sustentável é um dos principais desafios do século XXI, especialmente diante dos limites socioambientais impostos pela intensificação das crises climáticas, econômicas e sociais. A sustentabilidade, originalmente um conceito sistêmico e integrador, requer abordagens que conciliem justiça social, viabilidade econômica e conservação ambiental de maneira indissociável (Leff, 2020; Sachs, 2008). Essa exigência tem estimulado a investigação de modelos organizacionais alternativos à lógica de mercado tradicional, dentre os quais o cooperativismo se destaca pela sua natureza democrática, comunitária e orientada pelo bem-estar dos indivíduos.

As cooperativas, ao promoverem a autonomia de gestão, a distribuição equitativa dos resultados e o fortalecimento de vínculos coletivos, têm sido reconhecidas como agentes relevantes na construção de economias mais inclusivas e sustentáveis. Diversos estudos têm demonstrado o potencial dessas organizações para a promoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo em contextos de vulnerabilidade e exclusão histórica (Hocayen-da-Silva & Silva, 2021; Torres et al., 2024). Ainda assim, o campo carece de análises integradas que abordem de forma crítica a articulação entre as três dimensões da sustentabilidade social, econômica e ambiental no interior das experiências cooperativistas, especialmente em territórios periféricos.

A escassez de estudos que apontam a atuação das cooperativas para a transformação territorial em áreas caracterizadas por grandes empreendimentos extrativistas, como o caso da Amazônia Legal. A literatura privilegia experiências nos centros urbanos e sul-sudeste do Brasil, negligenciando realidades locais onde o cooperativismo pode assumir funções estratégicas de resistência, reconstrução social e promoção da sustentabilidade de base territorial (Vaz & Pigatto, 2023; Cadena et al., 2023).

Diante dessa lacuna, este estudo tem caráter exploratório e investigativo, buscando compreender como as cooperativas atuam como agentes de sustentabilidade em um dos contextos mais desafiadores do país: o município de Parauapebas, no sudeste do Pará. Este é um território fortemente impactado por dinâmicas de mineração e por um modelo de desenvolvimento baseado na exploração de recursos naturais. No entanto, também recebe experiências cooperativas focadas na autogestão, na geração de renda e na valorização de conhecimentos regionais.

A partir de uma revisão sistemática da literatura recente (2020–2024) e da análise de dados empíricos extraídos de estudos de caso existentes, este artigo busca mapear as contribuições das cooperativas locais para a sustentabilidade, examinando sua inserção nos ODS e suas práticas sociais, econômicas e ambientais. Ao iluminar essas experiências, o artigo visa não apenas preencher lacunas existentes na literatura, mas também fornecer elementos para uma reflexão crítica sobre o papel do cooperativismo na reconfiguração de territórios amazônicos sob pressão.

Metodologia

O presente estudo segue uma abordagem exploratória e descritiva, de acordo com Lakatos e Marconi (2010), com o objetivo de compreender de forma mais aprofundada o papel das cooperativas na promoção da sustentabilidade em contextos de vulnerabilidade. Por tal, utilizou-se uma triangulação metodológica entre a revisão sistemática da literatura e a análise qualitativa de dados empíricos secundários.

Como proposto por Sampaio e Mancini (2007), a revisão sistemática da literatura seguiu protocolos rigorosos de busca, seleção e análise crítica de publicações acadêmicas. As bases de dados utilizadas foram SciELO, Scopus, Google Scholar e

Periódicos CAPES, usaram os seguintes descritores: “cooperativas, sustentabilidade e agricultura familiar”, “desenvolvimento sustentável e economia solidária” e “ODS e cooperativismo”. Além disso, para entender a literatura dentro do campo de estudo foram utilizados aplicativos como Lipmap e Connected paper. O recorte temporal abrange publicações entre 2020 e 2024, tendo em vista a atualidade e a relevância das discussões em questão.

Além disso, foram avaliados estudos de caso já publicados por outros pesquisadores, os quais apresentam evidências empíricas sobre experiências cooperativistas relevantes no município de Parauapebas (PA), localizado na região Sudeste do Pará. A escolha é justificada pela relevância do território no contexto da Amazônia Legal, devido à presença de empreendimentos mineradores de grande escala e de formas organizativas que buscam alternativas sustentáveis à lógica extrativista (Brito et al., 2020; Trindade, Oliveira e Borges, 2014).

A análise qualitativa dos resultados desses estudos seguiu os princípios da História Oral Temática, como proposto por Xavier et al. (2020), focando-se em relatos e narrativas registrados nos textos originais, com atenção à trajetória dos sujeitos e às práticas de organização coletiva. As informações foram sistematizadas em planilhas eletrônicas e codificadas com base em categorias analíticas derivadas da literatura, segundo os procedimentos indicados por Bogdan e Biklen (1994).

Essa estratégia metodológica possibilitou compreender as contribuições das cooperativas a partir de três dimensões principais: inclusão socioprodutiva, valorização sociocultural e práticas ambientais. A escolha por trabalhar com dados secundários permite identificar padrões relevantes na literatura e apontar lacunas que podem orientar investigações futuras com coleta empírica direta. As etapas da revisão sistemática se apresentam na continuação (Figura 1).

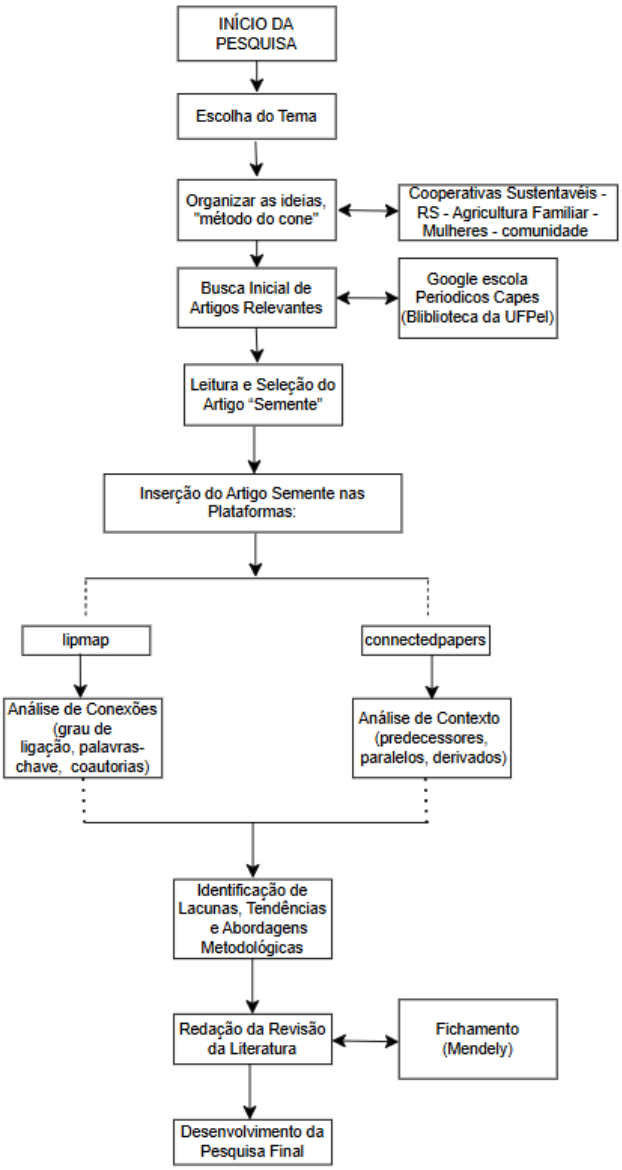


Figura 1: Etapas de revisão sistemática
Fonte: Autores, 2025

Discussão

A análise dos dados secundários e das contribuições teóricas revelou que as cooperativas situadas em contextos socioambientais vulneráveis, como o município de Parauapebas (PA), desempenham um papel estratégico na articulação de práticas sustentáveis. Os resultados permitem mapear três dimensões fundamentais que, apesar de serem tratadas de forma diferente em estudos anteriores, indicam um campo promissor de investigação futura: a inclusão socioprodutiva, a valorização sociocultural e as práticas ambientais emergentes.

O primeiro eixo, voltado à na inclusão socioprodutiva, revela que cooperativas lideradas por mulheres e pequenos produtores têm atuado com instrumentos de combate à informalidade e à exclusão econômica. Experiências como a da Cooperativa Mulheres de Barro demonstram a capacidade de organização comunitária para gerar trabalho, renda e autonomia, sobretudo para sujeitos historicamente marginalizados. A literatura revisada sugere impactos significativos na implementação dos ODS 1, 5 e 8, embora ainda sejam necessários estudos de acompanhamento longitudinal que mensurem a permanência e a evolução desses impactos.

O segundo eixo destaca a valorização dos saberes locais e das identidades coletivas, negligenciadas em análises voltadas para indicadores econômicos. A produção artesanal de cerâmica, por exemplo, não apenas resgata práticas tradicionais, como também redefine o sentido de desenvolvimento ao ancorá-lo em vínculos culturais e territoriais. Isto reforça a ideia de que o cooperativismo, em certos contextos, é também uma forma de resistência simbólica e política frente às dinâmicas desagregadoras do extrativismo. Contudo, a literatura carece de modelos analíticos que associam cultura e economia de forma sistemática.

O terceiro eixo refere-se às práticas ambientais, que são consideradas como componentes secundários ou incipientes da atuação cooperativista nos estudos analisados. Apesar de existirem iniciativas voltadas ao reaproveitamento de resíduos, ao uso de matérias-primas locais e à redução de impactos ambientais, a dimensão ecológica permanece fragmentada e, por vezes, ausente de uma abordagem estratégica integrada. Esse aspecto reforça a crítica de que, mesmo em contextos críticos como a Amazônia, a sustentabilidade ambiental ainda não é uma prioridade nas agendas das cooperativas, o que representa uma lacuna investigativa e operacional.

Além desses três eixos, foi possível identificar, por meio dos relatos analisados nos estudos de caso, uma consciência crítica em formação entre os cooperados, que compreendem a cooperação como mais do que uma alternativa econômica: tratam-na como um processo educativo, formador de cidadania ativa. Essa dimensão política do cooperativismo, presente nos trabalhos de Hocayen-da-Silva e Silva (2021), parece emergir como um diferencial importante na construção de alternativas sustentáveis enraizadas no território.

A ausência de estudos que combinem investigação empírica direta com modelos teóricos integradores que articulem as dimensões social, econômica, cultural e ambiental, indica uma importante lacuna na literatura. Os achados deste trabalho, embora baseados em fontes secundárias, oferecem pistas para linhas futuras de pesquisa empírica e interventiva, especialmente na Amazônia Legal. Compreender como essas cooperativas resistem, inovam e se mantêm em contextos adversos pode fornecer subsídios valiosos para políticas públicas mais alinhadas à realidade dos territórios periféricos e às exigências contemporâneas da sustentabilidade.

Considerações finais

Este estudo exploratório buscou compreender, a partir de uma revisão sistemática da literatura e da análise qualitativa de dados secundários, o papel das cooperativas na promoção da sustentabilidade em territórios marcados por vulnerabilidades socioambientais, tomando como referência o município de Parauapebas (PA), na região Sudeste da Amazônia Legal. A análise revelou que, apesar de as cooperativas desempenharem funções estratégicas na inclusão socioprodutiva e na valorização sociocultural, a dimensão ambiental permanece subestimada tanto nas práticas institucionais quanto nos estudos acadêmicos que as investigam.

As evidências demonstraram que o cooperativismo é como uma forma organizacional que pode criar alternativas ao modelo de desenvolvimento extrativista, que ainda é predominante em diversas áreas amazônicas. No entanto, a literatura analisada revela uma área bastante dispersa, com poucos estudos que envolvam de forma integrada os aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sustentabilidade. Esta constatação reforça a relevância de agendas interdisciplinares que contemplem não apenas os resultados imediatos das ações cooperativas, mas também seus processos formativos, impactos territoriais de longo prazo e relações com políticas públicas estruturantes.

A opção por trabalhar com dados secundários possibilitou uma visão panorâmica do estado da arte, mas também impõe limites quanto à profundidade da análise empírica. Tais limites, contudo, não comprometem o objetivo central deste artigo, que foi o de mapear lacunas de conhecimento e indicar caminhos promissores para futuras pesquisas. O campo de estudos sobre cooperativismo e sustentabilidade em áreas periféricas da Amazônia exige investigações mais densas, com abordagens participativas, metodologias de longo prazo e articulações com os sujeitos diretamente envolvidos nas práticas cooperativas.

Como contribuição, este artigo oferece uma base conceitual e diagnóstica que pode orientar o desenvolvimento de estudos posteriores com maior robustez analítica e empírica. Destaca-se, entre os pontos críticos a serem aprofundados: (i) a inserção efetiva da sustentabilidade ambiental nas práticas cooperativas; (ii) a sistematização dos impactos culturais do cooperativismo; e (iii) a análise das condições institucionais que favorecem (ou inibem) a consolidação de modelos econômicos alternativos nos territórios minerados da Amazônia.

Assim, o presente trabalho não se propõe a oferecer conclusões definitivas, mas sim a provocar novas perguntas, ampliar o debate e contribuir para o fortalecimento de um campo de investigação estratégico diante dos desafios contemporâneos do desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Centro Integrado Mercosul da UFPel, Pelotas, RS.

Referências Bibliográficas

Bogdan, R.; Biklen, S. 1994. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto Editora, v. 1, p. 1-270.

Brito, M. A.; Trindade, S. C.; Borges, A. L. 2020. Cooperativismo e sustentabilidade em áreas mineradas: o caso de Parauapebas (PA). Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional, v. 16, p. 145-167.

Cadena, C. A.; Oliveira, T. R. 2023. Cooperativas, saberes locais e desenvolvimento territorial na Amazônia. Cadernos de Desenvolvimento, v. 18, p. 56-72.

Fachin, O. 2006. Fundamentos de metodologia. Saraiva, v. 5, p. 1-208.

Hocayen-da-Silva, A. J.; Silva, R. L. 2021. Cooperativas como espaços de formação política: experiências contra-hegemônicas no Brasil rural. Revista de Extensão e Estudos Rurais, v. 12, p. 33-51.

Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. 2010. Fundamentos de metodologia científica. Atlas, v. 7, p. 1-312.

Oliveira, M. S.; Bertolini, G. R. 2022. A economia solidária como alternativa sustentável: potencialidades do cooperativismo no Brasil. Revista de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, p. 23-39. Richardson, R. J. 2008. Pesquisa social: métodos e técnicas. Atlas, v. 3, p. 1-272.

Sampaio, R. F.; Mancini, M. C. 2007. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 11, p. 83-89.

Silva, L. C.; Oliveira, F. S. 2021. Cooperativas e sustentabilidade: práticas de resistência na economia popular amazônica. Revista de Economia e Desenvolvimento Sustentável, v. 15, p. 88-104.

Silva, L. C. et al. 2022. Gênero, trabalho e cooperativismo: o caso da Cooperativa Mulheres de Barro em Parauapebas. Revista de Estudos Amazônicos, v. 20, p. 77-95.

Torres, M. F.; Santos, J. L.; Pereira, T. A. 2024. O papel das cooperativas na implementação dos ODS em contextos periféricos. Revista Brasileira de Políticas Públicas, v. 21, p. 12-30.

Trindade, S. C.; Oliveira, F. J.; Borges, A. L. 2014. Mineração, territórios e formas organizativas: desafios do cooperativismo em Parauapebas. Revista Territórios e Fronteiras, v. 7, p. 101-120.

Vaz, R. M.; Pigatto, G. A. S. 2023. Sustentabilidade nas cooperativas brasileiras: uma análise das dimensões ambiental, social e econômica. Revista de Gestão Socioambiental, v. 17, p. 41-59.

Xavier, L. M. et al. 2020. História Oral Temática como método em estudos sociais: contribuições e desafios. Revista Brasileira de Pesquisas Qualitativas, v. 8, p. 102-121.

DINÂMICA DO USO DO SOLO EM APPS DE IMÓVEIS RURAIS DE OCARA-CE (2003-2023): UMA ANÁLISE A PARTIR DO CAR.

1Iana de Castro Melo, 2Ana Patricia de Oliveira Lima, 3Isabel Cavalcante do Amaral, 4Robson Roger Rodrigues Costa,5Thayres de Sousa Andrade

1Universidade Federal do Ceará, e-mail:iana.engamb@gmail.com; 2Universidade Federal do Ceará, e-mail: liimapatriciaana@gmail.com; 3Universidade Federal do Ceará, e-mail: isacavalcante.amaral@gmail.com; 4Universidade Federal do Ceará, e-mail: robsonrogerrodrigues@gmail.com; 5Universidade Federal do Ceará, e-mail:thayresandrade@crateus.ufc.br.

Palavras-chave: MapBiomas Alerta; Código Florestal; Áreas de Preservação Permanente.

Resumo

A flexibilização das leis ambientais de áreas protegidas e o crescimento populacional têm intensificado as mudanças de uso e cobertura do solo de Áreas de Preservação Permanente. Assim, o estudo teve como objetivo analisar a variação dos usos e ocupações do solo das Áreas de Preservação Permanente em imóveis rurais do município de Ocara no Estado do Ceará, nos anos de 2003, 2013 e 2023. Buscou-se verificar se esses usos estão em conformidade com as normas de preservação estabelecidas pelo Código Florestal, a fim de obter informações para subsidiar políticas públicas de conservação e recuperação da vegetação nativa. Trata-se de uma pesquisa exploratória de dados quantitativos e qualitativos das Áreas de Preservação Permanente de imóveis rurais do município cadastrado no Cadastro Ambiental Rural e dos dados de uso e cobertura do solo da Plataforma do *MapBiomas Alerta*. Com a pesquisa constatou-se que houve um aumento do cultivo de outras lavouras temporárias no município ao longo dos anos, além da redução da formação florestal na região norte do município com a substituição da cobertura nativa por outras lavouras perenes. Os resultados evidenciam a necessidade de fortalecer políticas de gestão ambiental que garantam a conciliação entre produção agrícola e conservação dos recursos naturais.

Introdução

Instituído legalmente pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima) e implantado por meio da Instrução Normativa n° 2/2014 do Ministério do Meio Ambiente, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) consiste em uma base de dados estratégica para o controle, monitoramento, combate ao desmatamento e planejamento ambiental e econômico. O CAR é um registro público eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais, que tem por finalidade integrar as informações ambientais referentes à situação das Áreas de Preservação Permanente (APP), das áreas de reserva legal, das florestas e dos remanescentes de vegetação nativa, das áreas de uso restrito e das áreas consolidadas das propriedades e posses rurais do país (Brasil, 2012; Brasil, 2014).

Conforme o Código Florestal de 2012, Área de Preservação Permanente (APP) é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, abrangendo: faixas marginais de cursos d'águas variando de acordo com a largura deste; bem como, o entorno de reservatórios artificiais e naturais; encostas ou partes destas com declividade superior a 45º; restingas; manguezais; bordas de tabuleiro ou chapadas; topos de morros, montanhas e montes e serras; veredas; e áreas em altitude superior a 1.800 m (Brasil, 2012).

Os limites das APPs às margens dos cursos d'água variam entre 30 metros e 500 metros. As APPs são áreas naturais que possuem rígidos limites de exploração, ou seja, não é permitida a exploração econômica direta (SFB, 2019). De modo que, as supressões de vegetação nestas áreas devem ser previamente autorizadas pelo Poder Público, sendo admitidas apenas quando não houver outras alternativas técnicas ou locacionais para obras, planos, atividades ou projetos considerados de utilidade pública ou interesse social (Rodrigues; Matavelli, 2021).

Para Tundisi e Tundisi (2010) a vegetação tem um papel crucial na regulação dos ciclos biológicos e biogeoquímicos nas bacias hidrográficas. Segundo os autores, há evidências que demonstram que a vegetação tem papel relevante na qualidade da água dos rios, represas e lagos, estando a qualidade da água relacionada diretamente com a vegetação ripária e sua densidade ao longo do rio. Desta forma, a qualidade da água é alterada substancialmente pela remoção da vegetação, especialmente a vegetação ripária, onde ocorre o aumento do transporte de sólidos em suspensão, aumenta a condutividade e degrada mananciais, aumentando os custos do tratamento da água para abastecimento.

Em se tratando dos cursos d'água localizados no meio urbano, verifica-se historicamente que a expansão urbana e o aumento populacional desordenado têm intensificado a ocupação irregular de áreas destinadas à preservação, como as APPs. Bem como, com a flexibilização das legislações ambientais, as APPs têm sido continuamente descaracterizadas e degradadas tanto pelo crescimento urbano quanto pela expansão agropecuária (Santos; Piroli; Gouveia, 2021; Santos *et al.,* 2022). Ademais, o processo de ocupação irregular dessas áreas implica na modificação da paisagem natural, em que a retirada de vegetação resulta na degradação da qualidade da água e do solo.

Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a variação dos usos e ocupações do solo das Áreas de Preservação Permanente em imóveis rurais do município de Ocara no estado do Ceará, nos anos de 2003, 2013 e 2023, visando identificar a conformidade dos usos com a preservação dessas áreas conforme estabelecido pelo Código Florestal, a fim de obter informações para subsidiar políticas públicas de conservação e recuperação da vegetação nativa.

Metodologia

A área de estudo do trabalho abrangeu as APPs dos imóveis rurais cadastrados no CAR, localizados no município de Ocara-CE, na microrregião de Chorozinho, a aproximadamente 95 km de distância da capital do Estado. O município possui uma área de 763.075 km² e população estimada de 24.493 habitantes, de acordo com o censo de 2022, com densidade demográfica de 32,1 hab/km² (IBGE, 2022).

O município possui clima tropical quente semiárido, com temperaturas médias anuais variando entre 26°C e 28°C. A vegetação predominante é a caatinga arbustiva densa, e o período chuvoso se concentra entre os meses de janeiro e abril, com precipitações médias anuais em torno de 810 mm. Essas condições naturais influenciam diretamente nas atividades econômicas locais, que têm como base o cultivo de culturas agrícolas (IBGE, 2022).

O presente trabalho constitui-se em uma pesquisa exploratória dos dados quantitativos e qualitativos das APPs de imóveis rurais do município de Ocara, cadastrados no CAR, e dos dados de uso e cobertura do solo da Plataforma do *MapBiomas Alerta*, referentes ao período de 2003, 2013 e 2023.

O processamento e análise dos dados deu-se por meio da quantificação e comparação das áreas de mapas temáticos elaborados no software gratuito *QuantumGIS* 3.34.3, utilizando o Sistema de Coordenada UTM Zona 24 S, Datum SIRGAS 2000, baseado na metodologia utilizada por Santos *et al*. (2024), com a utilização dos arquivos shapefile dos perímetros de imóveis rurais de APPs do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (2025), com data de atualização de 03 de janeiro de 2025, e do arquivo raster da Cobertura e Uso da Terra da Coleção 9 do *MapBiomas* (2023).

Para a elaboração dos mapas foram identificadas e dissolvidas as áreas de sobreposição de imóveis rurais e de APPs, a fim de não haver a contabilização duplicada das áreas. Ademais, foi utilizada a ferramenta de recorte na camada de entrada dos arquivos shapefile dos imóveis rurais e de APPs com a sobreposição do arquivo shapefile do limite municipal de Ocara, a fim de não contabilizar as áreas imóveis rurais e de APPs que ultrapassassem o limite municipal.

A partir disso, foi extraído dos mapas o quantitativo de áreas dos imóveis rurais e das APPs, considerando como áreas dos imóveis rurais cadastrados e das APPs no município, a soma das respectivas áreas dos imóveis com o código do município, enquanto, a quantificação das áreas de sobreposição se deu pela diferença da área cadastrada com as áreas reais obtidas, a partir das utilização da ferramenta "dissolver". Já a quantificação das áreas internas ao perímetro municipal foi obtida após o recorte das áreas reais com a sobreposição ao perímetro municipal.

Delimitadas as áreas de estudo e retiradas as áreas com sobreposição de cadastros, foram analisadas as variações dos usos do solo do município e das APPs nos períodos de 2003, 2013 e 2023 e, em seguida, os dados obtidos foram exportados para o *Google Planilhas*, para realização dos cálculos dos percentuais de áreas e organizados em tabelas, para a análise da conformidade dos usos observados com as limitações de usos das APPs previstos pelo Código Florestal Brasileiro.

Resultados e discussões

De acordo com os dados de janeiro de 2025 do Sicar (Figura 1) foi observado que o município de Ocara possui 61991,76 hectares no Cadastro Ambiental Rural, enquanto a área de preservação permanente cadastrada nestes imóveis foi de 1411,20 hectares.

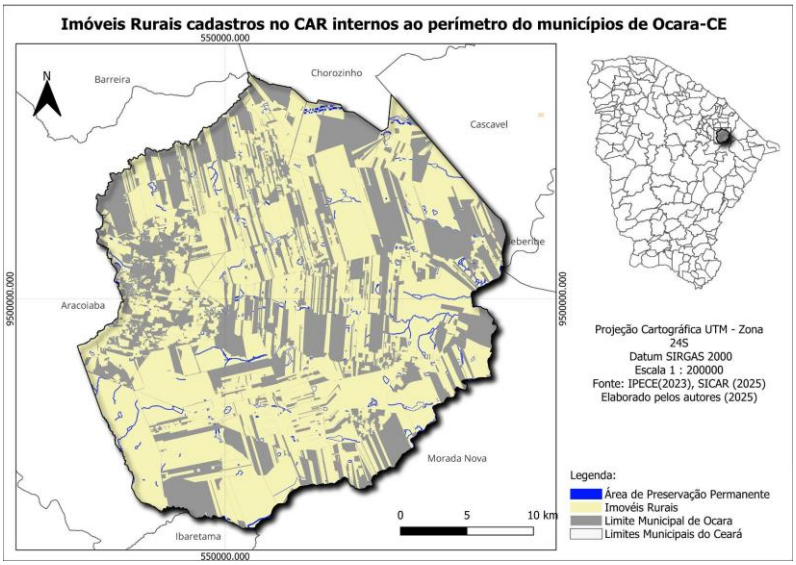


Figura 1: Imóveis Rurais do CAR internos ao perímetro do município de Ocara- CE

Após análise da sobreposição de área (Tabela 1) foi verificado que 12,21% da área dos imóveis cadastrados possuem conflitos de sobreposição com outros imóveis rurais, de modo que a área real dos imóveis rurais foi de 54424,11 hectares, enquanto as APPs apresentaram sobreposição de apenas 0,7%. Além disso, foi verificado que 10,44% da área real dos imóveis rurais e 12,84% das APPs cadastrados como sendo do município de Ocara, estavam localizadas fora do perímetro municipal.

Portanto, a área real dos imóveis rurais que estão inseridos no município é de 48744,26 hectares e a área real das APPs inseridas no município é de 1220,97 hectares, o que representa, respectivamente, 63,93% e 1,60% da extensão territorial do município.

Os dados observados em Ocara assemelham-se ao estudo de Santos *et al*. (2024), referente ao percentual de sobreposição em um município de Minas Gerais, onde foi apontado que tais percentuais são decorrentes da característica essencial do CAR, de ser um cadastro autodeclaratório, o que pode resultar em equívocos nas áreas duplicadas e externas ao perímetro municipal, conforme observado no presente trabalho.

Tabela 1: Área dos imóveis rurais, das APPs e das sobreposições identificada em Ocara-CE

Dados	Área (ha)	Percentual da área total do município (%)
Área dos imóveis rurais cadastrados	61991,76	81,30%
Área real dos imóveis rurais	54424,11	71,37%
Áreas com sobreposição de cadastro	7567,65	9,92%
Área real dos imóveis rurais externa ao perímetro municipal	5679,86	7,45%
Área real dos imóveis rurais interna ao perímetro municipal	48744,26	63,93%
Área de Preservação Permanente	1411,20	1,85%
Área de Preservação Permanente real	1400,78	1,84%
Área de Preservação Permanente com sobreposição	10,42	0,01%
Área de Preservação Permanente real interna ao perímetro municipal	179,81	0,24%
Área de Preservação Permanente real externa ao perímetro municipal	1220,97	1,60%

Fonte: Elaborado pelos autores

Quanto a análise temporal dos usos e cobertura do solo do município nos anos de 2003, 2013 e 2023, conforme a figura 2, houve o aumento do cultivo de outras lavouras temporárias no município ao longo dos anos, principalmente na área central e sul do território, anteriormente ocupadas por formação savânica e por outras lavouras perenes, bem como a redução da formação florestal na região norte do município com a substituição da cobertura por outras lavouras perenes.

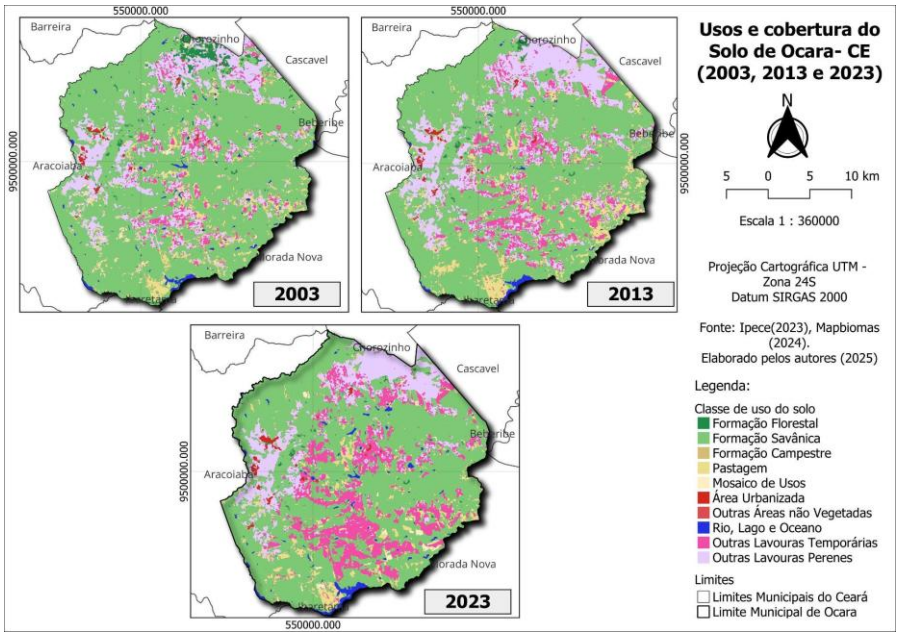


Figura 2: Usos e cobertura do solo de Ocara-CE (2003, 2013 e 2023)

Ademais, conforme listados na figura 3, as mudanças do uso e cobertura do solo demonstram que a formação savânica ainda é predominante na região, representando 59,92% da cobertura do território do município em 2023, apesar da redução de 11,36% ao longo das duas décadas. Contudo, outras lavouras perenes utilizadas, que ocupavam o segundo lugar 2003, tiveram redução de 8,15%, sendo substituídas em partes por lavouras temporárias, como ilustrado na figura 2, que inicialmente eram o quarto maior uso da região em 2003, e passou para o segundo maior uso em 2023, tendo um aumento de 275% sobre a área inicial.

Em Ocara as principais atividades econômicas estão relacionadas à agricultura e pecuária, o que reflete diretamente na expansão de lavouras temporárias e na redução de vegetação nativa e formação savânica ao longo das décadas analisadas (2003, 2013 e 2023).

Conforme dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) (2016), Ocara tem um Produto Interno Bruto (PIB) majoritariamente baseado na agropecuária, com destaque para a produção de culturas temporárias como

milho e feijão. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022) também aponta que a economia do município depende da agricultura familiar, influenciando diretamente o padrão de uso do solo e a conversão de áreas naturais em espaços cultiváveis.

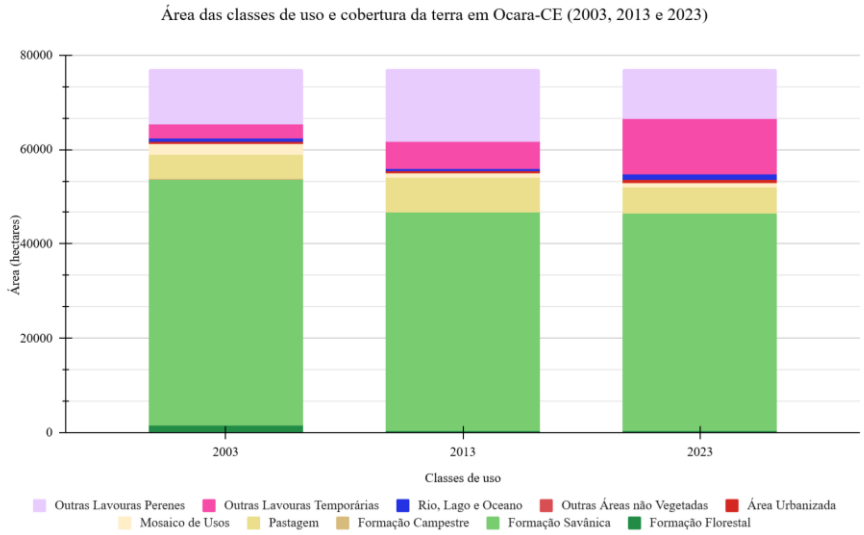


Figura 3: Classificação dos usos e cobertura do solo em Ocara-CE (2003, 2013 e 2023)

Dessa forma, a análise das APPs ilustradas na Figura 4, refletiu em parte às mudanças do uso do solo do município quanto a redução das formações savânicas, bem como ao aumento do uso de outras lavouras temporárias, porém, demonstrou um aumento da ocupação por outras lavouras perenes e a redução de áreas de pastagem. Esse padrão de mudança no uso do solo levanta questões sobre a relação entre a legislação ambiental e a expansão da atividade agrícola, especialmente no contexto das flexibilizações estabelecidas pelo novo Código Florestal Brasileiro. A legislação determina que essas áreas devem ser preservadas ou, quando degradadas, recuperadas. No entanto, a reforma do Código em 2012 trouxe mudanças, permitindo a continuidade de atividades agropecuárias em APPs sob determinadas condições, especialmente para propriedades já consolidadas antes de 2008.

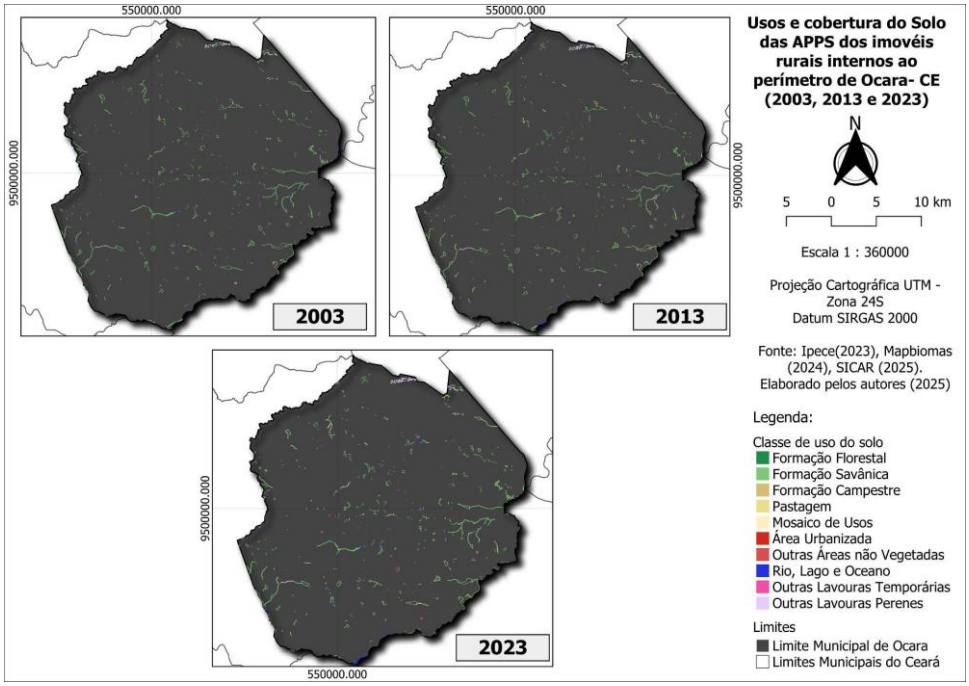


Figura 4: Usos e cobertura do solo nas APPs dos imóveis rurais internos ao perímetro de Ocara-CE (2003, 2013 e 2023)

No entanto, vale ressaltar que, conforme os dados listados na figura 5, o percentual de redução da formação savânica das APPs foi de 7,49%, sendo inferior a redução sofrida em todo o território, podendo tal fato ter ocorrido devido a características de preservação da vegetação nativa das APPs. Já o aumento das lavouras perenes foi de 68,33% e das outras lavouras temporárias

foi de 807% em relação à área inicial, sendo este último dado muito superior ao aumento identificado nas demais áreas do território municipal, refletindo a ocupação de áreas inundáveis e áreas de várzea, que em geral estão inseridas na região das APPs de recursos hídricos, para o cultivo agrícola em regiões semiáridas, devido aos desafios sofridos com a escassez hídrica.

A busca por maior produtividade em um ambiente com limitações hídricas e solos de variação variável leva à priorização de terras mais férteis e próximas das fontes hídricas, garantindo maior previsibilidade na produção agropecuária. Isso pode explicar a conversão acelerada da cobertura vegetal nativa em áreas cultiváveis, conforme observado no município.

As flexibilizações estabelecidas pelo Código Florestal podem estar diretamente relacionadas às mudanças observadas na cobertura do solo em Ocara. Antes da alteração na legislação, havia maior restrição para o uso agrícola dentro das APPs, o que favorecia a manutenção da vegetação nativa. Com a nova regulamentação, áreas anteriormente preservadas passaram a ser utilizadas para cultivos temporários e perenes, impulsionando a conversão dessas terras para a produção agrícola.

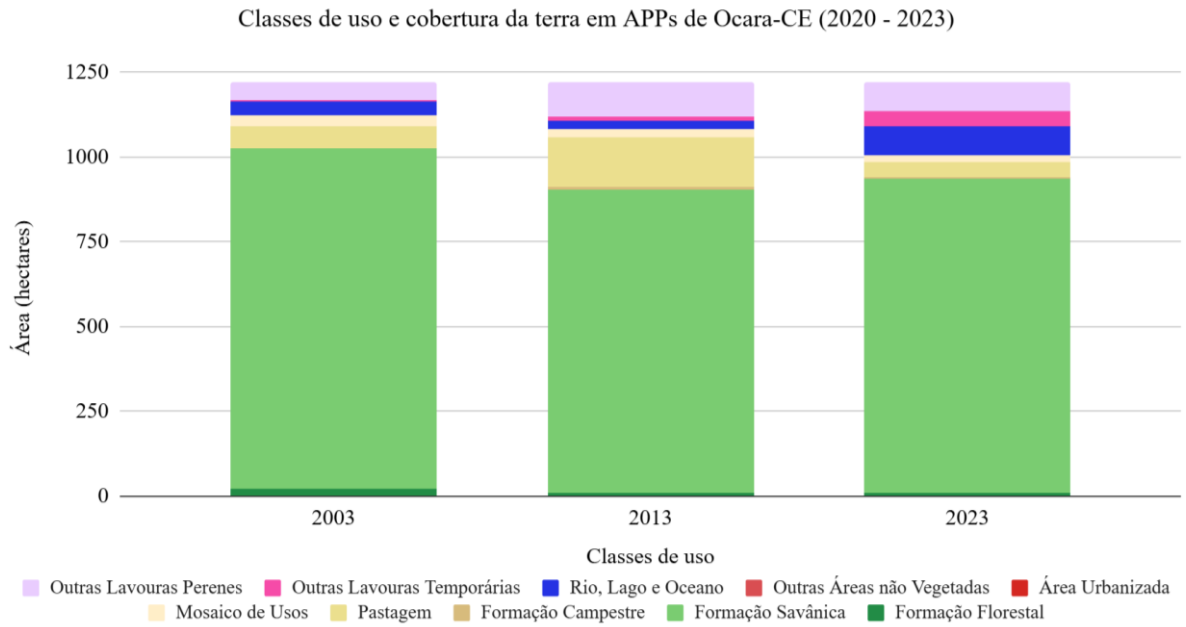


Figura 5: Classificação dos usos e cobertura do solo das APPs dos imóveis rurais internos ao perímetro de Ocara-CE (2003, 2013 e 2023)

Considerações finais

O presente estudo revelou transformações significativas no uso e cobertura do solo nas APPs do município de Ocara ao longo de duas décadas. Os resultados indicam uma expressiva redução das formações savânicas, acompanhada por um aumento expressivo das lavouras temporárias e perenes. Essas mudanças refletem diretamente a expansão da atividade agrícola sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa.

A redução de 11,36% da formação savânica em todo o território municipal, e de 7,49% nas APPs sugere que, embora essas áreas possuam proteção legal, a pressão por uso agrícola é crescente. O aumento das lavouras temporárias em 807% dentro das APPs, e de 275% no município como um todo demonstra um processo acelerado de conversão da vegetação natural para usos agrícolas. Paralelamente, o crescimento das lavouras perenes em APPs (68,33%) indica uma tendência de ocupação dessas áreas para cultivos de longo prazo, principalmente em regiões próximas a corpos hídricos, onde há maior disponibilidade de umidade.

A relação entre essas mudanças e o Código Florestal se mostra evidente. A legislação, ao permitir a continuidade de atividades agropecuárias em APPs já consolidadas até 2008, flexibilizou as regras de uso do solo, resultando em um aumento da exploração agrícola em áreas que anteriormente eram protegidas ou tinham restrições mais rígidas. Essa mudança pode ser observada especialmente no crescimento das lavouras temporárias dentro das APPs, que antes eram menos expressivas nesses territórios.

Embora o Código Florestal de 2012 tenha estabelecido diretrizes para regularização e recuperação de APPs por meio do CAR e do PRA, os dados analisados indicam que essas políticas ainda não foram plenamente eficazes na contenção da conversão de vegetação nativa para cultivos agrícolas. A continuidade desse processo pode comprometer a estabilidade ambiental da região, agravando problemas como erosão do solo, assoreamento de corpos hídricos e perda de biodiversidade.

Diante desse cenário, é fundamental reforçar a implementação e fiscalização do CAR e do PRA, garantindo que os usos do solo estejam em conformidade com a legislação ambiental vigente. Além disso, políticas públicas voltadas à conciliação entre produção agrícola e conservação dos recursos naturais devem ser fortalecidas. Incentivos à adoção de práticas agroecológicas, sistemas agroflorestais e técnicas de conservação do solo e da água podem ser alternativas viáveis para mitigar os impactos negativos do avanço agrícola sobre as APPs.

O estudo destaca a necessidade de um monitoramento contínuo dessas mudanças, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e bases de dados ambientais, a fim de garantir que as APPs cumpram sua função ecológica e que o desenvolvimento agrícola ocorra de maneira sustentável e equilibrada.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 12 jan. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa n. 2, de 06 de maio de 2014.** Dispõe sobre os procedimentos para a integração, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural-SICAR e define os procedimentos gerais do Cadastro Ambiental Rural – CAR. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, p. 59, 06 maio 2014.

GARCIA, J. M.; LONGO, R. M. Análise de impactos ambientais em área de preservação permanente (APP) como instrumento de gestão em rios urbanos. **Revista Cerrados (Unimontes),** v. 18, n. 01, p. 107-128, 2020. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/5769/576962804012/html/. Acesso em: 13 jan. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados: Ocara - CE.** IBGE, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/ocara/panorama. Acesso em: 17 jan. 2025.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal de Ocara**. Fortaleza: IPECE, 2016. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Ocara_2016.pdf. Acesso em: 02 fev. 2025.

RODRIGUES, A. R.; MATAVELLI, C. J. As principais alterações do Código Florestal Brasileiro. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 10, n. 1, p. 64-71, 2021.

SANTOS, R.; PIROLI, E. L.; GOUVEIA, I. C. M. C. Conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente no município de Presidente Epitácio, estado de São Paulo, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 39, 2021.

SANTOS, F. A. *et al.* Análise da situação na Área de Preservação Permanente do Rio Parnaíba, no perímetro urbano de Timon-MA, a partir de imagens do satélite CBERS-4A. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 3, n. 4, 2022.

SANTOS, M. *et al.* Diagnóstico do conflito do uso e ocupação da terra em áreas protegidas por lei em imóveis rurais no município de Monte Carmelo-MG. **Revista Espinhaço**, v. 13, n. 1, 2024. Disponível em: https://revistas.ufvjm.edu.br/revista-espinhaco/article/view/412. Acesso em: 22 jan. 2025.

SFB – Serviço Florestal Brasileiro. **Sistema Nacional de Informações Florestais.** SFB, 2019. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestass/183-areas-de-preservacao-permanente . Acesso em: 13 jan. 2025.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67-75, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bn/a/9NFHqXk7LTh7gjJVGcPF34r/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 13 jan. 2025.

— RESUMOS —

Processos Erosivos e Controle de Voçorocas



8º SSS

ANÁLISE QUALITATIVA DE PRODUÇÕES CIENTÍFICAS RELACIONADAS A SEDIMENTOS

1Luany Centurião Prado Nogueira, 2Cristiano Poleto
1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: luany.nogueira@ufrgs.br;
2Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cristiano.poleto@ufrgs.br

Palavras-chave: análise de dados; pesquisa científica; publicações nacionais.

Resumo

A produção científica de trabalhos sobre sedimentos foi coletada no banco de dados do Web of Science e analisada pelo aplicativo VOSviewer onde foram gerados gráficos demonstrativos. O objetivo dessa análise foi identificar tendências de temas e padrões de publicações em âmbito nacional.

O estudo envolve a extração de dados da plataforma científica Web of Science. Os dados são organizados em dois gráficos diferentes interpretações. A análise demonstra títulos mais utilizados dentro do assunto sedimentos e as palavras mais utilizadas em publicações sobre o assunto.

Os resultados são úteis para entender como evolui o campo de interesse e quais tópicos são mais usados pelos pesquisadores em âmbito nacional. A análise pode apontar áreas que necessitam de mais atenção, assim como assuntos estudados com importância significativa.

Esse estudo foi iniciado através da análise de dados retirados do Web of Science. Foi utilizado o aplicativo VOSviewer para gerar um gráfico de rede da incidência de títulos e outra da incidência de palavras chave sobre o assunto sedimentos.

A análise se inicia com o gráfico de rede (figura 1), onde foi utilizado para mapear e analisar redes de co-ocorrência de palavras chave. Como tópico central temos a palavra sedimento com maior destaque, sendo o maior nó, indicando que é o termo mais frequente e de conexões centrais analisadas. Podemos observar diferentes agrupamentos de palavras que frequentemente aparecem juntas, sendo cada cor representada por um tema relacionado a sedimentos.

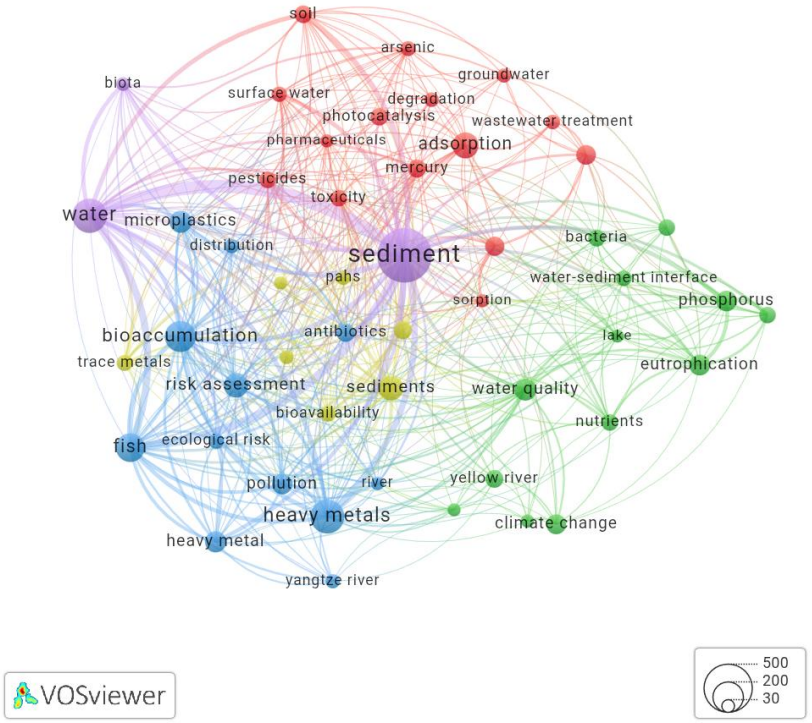


Figura 1: Demonstrativo de incidência de palavras chave sobre o tema sedimentos

A cor roxa (central) representa a intersecção geral dos temas, com ênfase em sedimentos e contaminantes emergentes. Podemos encontrar palavras como água, microplásticos e pesticidas nesse agrupamento. De forma geral, é possível interligar o estudo sobre sedimentos com os impactos ambientais da poluição de corpos d'água.

A cor azul tem foco em impactos ecológicos e riscos à biota aquática associados a metais pesados. Essa análise é possível de acordo com a ênfase que o termo metais pesados foi imposto em relação às palavras peixe, bioacumulação e riscos ecológicos que fazem parte do mesmo cluster de cores.

A cor verde está relacionada aos processos de eutrofização e qualidade da água. Onde as palavras lago, nutrientes, eutrofização e qualidade da água se encontram em evidência.

A cor vermelha está ligada aos processos de tratamento, degradação de contaminantes e comunidades microbianas. As palavras evidências são degradação, medicamentos farmacêuticos e comunidades microbianas.

Já o último cluster, a cor amarela, é associado a poluentes orgânicos e antibióticos. O termo anel aromático de hidrocarbonetos está incluído neste agrupamento.

Entre toda a análise de cor, temos as conexões. As linhas conectando os nós representam a co-ocorrência entre os termos em artigos científicos. A densidade e a espessura das linhas indicam frequência de uso. O tamanho do nó também influencia na análise dos dados. Onde quanto maior o nó, mais vezes aquele termo apareceu nos dados analisados.

Esse tipo de análise ajuda a visualizar como diferentes temas científicos estão interligados e quais possíveis motivações. Além disso, é útil para identificar áreas de pesquisa mais ativas ou emergentes.

A segunda análise é feita com o gráfico de rede (figura 2), onde foi utilizado para mapear e analisar redes de co-ocorrência de títulos. Neste gráfico se tem apenas dois cluster de cor, o verde e o vermelho.

A cor verde (direita) indica ligações de termos referentes às amostras ambientais e ao meio físico. Palavras como água, sedimento, concentração, amostra e metal indicam um foco em análise ambiental de substâncias em corpos hídricos. Também há termos como microplásticos e metais pesados que sugerem poluentes específicos. Pode ser indicativo de publicações com ênfase em monitoramento de contaminantes, avaliações do impacto de contaminantes na biota aquática ou até investigação de fontes de contaminação e padrões de distribuição em corpos d'água.

Já o cluster de cor vermelha (esquerda) tem como foco os processos experimentais, modelagem e análises teóricas. Indica estudos voltados para simulações, análises quantitativas e efeitos de variáveis como temperatura e nutrientes.

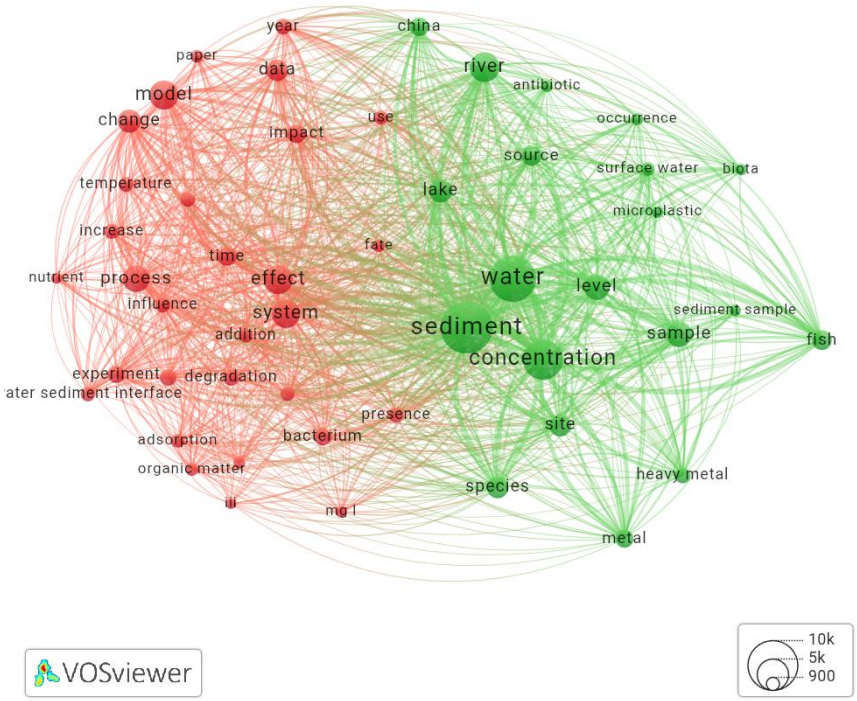


Figura 2: Demonstrativo de incidência de títulos sobre o tema sedimentos

Os termos água, sedimentos e concentração são os mais centrais e maiores, sugerindo que são os mais frequentes e conectados. Isso mostra que a maioria dos estudos se concentra em medir e entender concentrações de substâncias em água e sedimentos. O conjunto de dados nos apresenta possíveis temáticas de publicações, como avaliações de impactos ambientais, monitoramento de contaminantes em ambientes aquáticos e até estudos envolvendo biodisponibilidade, modelagem ambiental e interações químicas e biológicas nos sedimentos.

A análise dos gráficos de co-ocorrência gerados no VOSviewer permitiu identificar os principais temas e relações presentes na literatura científica sobre sedimentos. Observou-se que os termos mais recorrentes, como água, sedimento e concentração, atuam como elementos centrais na articulação entre diferentes áreas de estudo.

O primeiro gráfico destacou a divisão temática entre abordagens empírica, voltadas à amostragem e análise de contaminantes em corpos hídricos e abordagens teóricas, centradas em modelagem e processos físico-químicos nos sedimentos. Já o segundo gráfico revelou uma maior diversidade temática, com a presença de tópicos emergentes como bioacumulação, risco ecológico, poluentes emergentes, além da crescente preocupação com a qualidade da água e as mudanças climáticas.

Esses resultados evidenciam uma evolução nas pesquisas ambientais, que passaram de análises isoladas para uma compreensão sistemática e integrada dos processos que envolvem a poluição dos meios hídricos. A articulação entre dados

experimentais, modelagem e avaliação de risco tem se mostrado fundamental para o avanço do conhecimento e o desenvolvimento de estratégias eficazes de monitoramento e mitigação dos impactos ambientais.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Souza, A.; Oliveira, G.; 2021. A Pesquisa Bibliográfica: Princípios e Fundamentos. Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83.

Teixeira, E.; 2003. A Análise de Dados na Pesquisa Científica: importância e desafios em estudos organizacionais. Desenvolvimento em Questão, p. 177-201.

Bandeira, H.; 2022. Como elaborar plano de análise dos dados na pesquisa qualitativa: descrição, explicação ou interpretação?. Educação e Filosofia, p. 1141-1166.

Freitas, H.; Moscarola, J.; 2001. Da observação à decisão: métodos de pesquisa e de análise quantitativa e qualitativa de dados. Scielo Brasil.

— RESUMOS —

Recursos Hídricos: Qualidade da Água

8º SSS

LEVANTAMENTO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL E APLICAÇÃO NO CONTEXTO AMAZÔNICO

1Rui Rodrigues de Brito, 2Marcos Antônio Corrêa Matos do Amaral
1Universidade Federal do Oeste do Pará, e-mail: ruirdrbr@gmail.com; 2Universidade Federal do Oeste do Pará, e-mail: marcos.amaral@ufopa.edu.br

Palavras-chave: recursos hídricos; monitoramento ambiental; desenvolvimento sustentável.

Resumo

A qualidade da água é condição indispensável para um desenvolvimento sustentável, principalmente quando se verificam os impactos gerados por ações antrópicas, naturais ou de eventos extremos que venham alterar as características físico-químicas dos recursos hídricos. Assim, este trabalho visa realizar uma exposição sobre os indicadores e índices de qualidade das águas como instrumentos essenciais aos sistemas de monitoramento das águas para promoção do uso sustentável dos recursos hídricos. O objetivo central deste estudo é apresentar indicadores e índices como ferramentas essenciais ao controle e monitoramento da qualidade das águas, bem como expor uma aplicação no contexto amazônico. Sendo elaborado por meio da pesquisa bibliográfica. Assim, foi constatado que os indicadores e índices de qualidade das águas foram resultados da crescente preocupação social com as consequências ambientais do desenvolvimento, que requerem um número elevado de informações em graus de complexidade crescentes. A divulgação de dados de qualidade das águas pelos órgãos gestores que realizam o monitoramento sistemático da qualidade das águas nos Estados, no Distrito Federal e nos Municípios deve ser acessível a todos.

Introdução

Para um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade ambiental, é imperativo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo (BRASIL, 2019).

A qualidade da água é condição indispensável para um desenvolvimento sustentável, principalmente quando se verificam os impactos gerados por ações antrópicas, naturais ou de eventos extremos que venham alterar as características físico-químicas dos recursos hídricos. A legislação brasileira para preservação e conservação da água em relação aos seus usos múltiplos é vasta, a exemplo da Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357, que "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" (CONAMA, 2005, ementa).

Os padrões de qualidade hídrica determinados pelo CONAMA (2005) estabelecem limites individuais de substância em cada classe. No qual, o conjunto de parâmetros de qualidade da água selecionado subsidiará a proposta de enquadramento que deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público, que, a qualquer momento, pode acrescentar outras condições e padrões de qualidade para um determinado corpo hídrico, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais e regionais, mediante fundamentação técnica.

No qual as análises e modelos matemáticos, como os indicadores e os índices, fornecem amparo técnico da qualidade das águas no país, uma vez que são fundamentais em qualquer sistema de conservação e preservação hídrica, para avaliar e monitorar as condições ambientais hídricas, como em rios e reservatórios, dentro dos parâmetros legais permitidos para cada uso múltiplo da água.

Assim, este trabalho visa realizar uma exposição sobre os indicadores e índice de qualidade das águas como instrumentos essenciais aos sistemas de monitoramento das águas para promoção do uso sustentável dos recursos hídricos. O objetivo central deste estudo é apresentar indicadores e índices como ferramentas essenciais ao controle e monitoramento da qualidade das águas, bem como expor um exemplo de aplicação no contexto amazônico. Sendo elaborado por meio da pesquisa bibliográfica descritiva e qualitativa, com base em textos, como livros, artigos científicos, dissertações, jornais, revistas, resenhas, resumos e demais documentos em relação ao tema do presente trabalho (Prodanov e Freitas, 2013; Marconi e Lakatos, 2017).

Desenvolvimento

Indicadores de qualidade das águas

Os parâmetros de qualidade das águas, independentemente do tipo de uso a ser viabilizado, envolvem critérios microbiológicos, químicos, organolépticos e radiológicos. Critérios esses que podem estar associados às dinâmicas de trocas que ocorrem nos recursos hídricos onde os corpos d'água estão inseridos, podendo ser alterados ao longo do tempo e espaço. Para caracterizar melhor as águas, facilitar o monitoramento e o controle de sua qualidade, é selecionado um conjunto de características que denotam relevância para o uso a que o recurso se destina. Nesse contexto, as características ou parâmetros assumem o papel de indicadores de qualidade da água, onde os indicadores de qualidade da água têm como objetivo fornecer, direta ou indiretamente, informações sobre a dinâmica e condição potencial ante a função ecológica ou ao tipo de uso a ela atribuído. O uso dos indicadores como instrumento de medição e avaliação podem auxiliar os mais variados setores públicos e privados em relação a sistemas de qualidade de água (Feltman, 2022; Santos, 2012).

Os índices de qualidade das águas

São utilizados para avaliar as características da água em relação a padrões estabelecidos de critérios de qualidade, sendo aproveitados com o objetivo de fornecer uma visão simplificada da qualidade da água, pois integram os resultados de diversos critérios. Para transmitir uma informação possível de compreensão por parte da população em geral. Onde, para cada critério específico, são utilizados índices (Quadro 1) que refletem a qualidade das águas de acordo com seus usos pretendidos (CETESB, 2024).

Quadro 1: Índices de qualidade das águas

IQA – Índice de Qualidade das Águas
Fornece uma avaliação geral da qualidade do corpo de água, em função de variáveis associadas principalmente à presença de efluentes sanitários, como também industriais.
IAP – Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
É o índice utilizado pela CETESB para indicar as condições de qualidade das águas para fins de abastecimento público. Além das variáveis consideradas no IQA, são avaliadas as substâncias tóxicas e as variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água.
IVA – Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática
É utilizado para avaliar a qualidade das águas para a proteção da vida aquática, incluindo no seu cálculo as variáveis essenciais para os organismos aquáticos (Oxigênio Dissolvido, pH, Toxicidade por meio de ensaio Ecotoxicológico com Ceriodaphnia dubia), as substâncias tóxicas e o grau de trofia.
IET – Índice do Estado Trófico
Classifica os corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias.
ICF, ICZ e ICB – Índice da Comunidade Fitoplanctônica, Índice da Comunidade Zooplanctônica e Índice da Comunidade Bentônica
Os índices de comunidades complementam a avaliação do IVA, fornecendo o diagnóstico ambiental por meio dos grupos de organismos fitoplanctônicos (ICF), zooplanctônicos (ICZ) e bentônicos (ICB), com base em informações como: densidade, dominância, diversidade e outras métricas, para a classificação dos diferentes meios.
IB – Índice de Balneabilidade
Visa avaliar a qualidade de água para fins de recreação de contato primário, sendo aplicado em praias de águas interiores, localizadas em rios e reservatórios

Fonte: Organizado pelo Autor da CETESB (2024)

Os indicadores e índices

Nasceram como resultado da crescente preocupação social com as consequências ambientais do desenvolvimento, que requerem um número elevado de informações em graus de complexidade crescentes. Por outro lado, os indicadores tornaram-se fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus resultados. Esta dupla vertente apresenta-se como um desafio constante de gerar indicadores e índices que tratem um número crescente de informações, de forma sistemática e acessível, para tomadas de decisão. A principal vantagem dos índices é a facilidade de comunicação, e sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua inter-relação. De forma que o índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais suprirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de um determinado recurso hídrico (CETESB, 2024).

Aplicação de um estudo de qualidade das águas no contexto amazônico

A Prefeitura de Santarém (PA), por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), iniciou em janeiro de 2025, um novo estudo de balneabilidade das praias e lagos do município, com a coleta de amostras em 11 pontos estratégicos. A pesquisa visa avaliar as condições da água para banho em alguns dos principais pontos turísticos da região, o estudo está alinhado às diretrizes da Resolução nº 274/2000 do CONAMA, que estabelece os parâmetros para monitoramento de balneabilidade (recreação de contato primário), garantindo o uso seguro dos recursos hídricos para recreação, que por meio do IB, terão suas condições avaliadas nas categorias próprias e impróprias (Pixinine, 2025).

Levantamento dos dados de qualidade da água

À divulgação de dados de qualidade das águas (ANA, 2016), devem também ter incentivo de publicidade aos órgãos gestores municipais que realizem o monitoramento sistemático da qualidade das águas no município, uma vez que o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (QUALIÁGUA) só é destinado aos Estados e ao Distrito Federal, visando contribuir para a gestão sistemática dos recursos hídricos, através do estímulo a divulgação de dados sobre a qualidade das águas municipais, para promoção de uma Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA) integrada e participativa.

O SISAGUA é um Sistema de Informação em Saúde (SIS) que é um instrumento do VIGIAGUA (Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano). O sistema é disponibilizado na internet pelo Ministério da Saúde (MS, 2022) para a inserção dos dados do monitoramento da água consumida pela população no Brasil. O público-alvo do SISAGUA são os profissionais responsáveis por exercer o controle e a vigilância da qualidade da água potável destinada ao consumo humano, que envolve os profissionais desde a área de atuação municipal.

Considerações Finais

Através dos indicadores e índices, é possível avaliar e monitorar a qualidade da água, a fim de assegurar que as legislações e as medidas de controle ambiental estejam sendo atendidas ou mantidas em nível nacional, garantindo a preservação e conservação dos recursos hídricos em seus mais variados tipos de usos. Com uma maior divulgação de acesso público aos dados de qualidade da água, é possível realizar um monitoramento integrado da qualidade dos recursos hídricos em rede nacional.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e ao Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Resolução nº 643: **Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA e dá outras providências**. Brasília, 27 de junho de 2016. Art. 2º.

Brasil. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Art. 225. Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, compilado até a Emenda Constitucional nº 99/2017. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2023**; Coordenação geral Maria Helena R.B. Martins; Coordenação técnica Fábio Netto Moreno, Marta Condé Lamparelli, Beatriz Durazzo Ruiz; Coordenação cartográfica Carmen Lúcia V. Midaglia; Equipe técnica Cláudio Roberto Palombo ... [et al.]. São Paulo: CETESB, 2024. Pág. 26-27 e Apêndice D. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2024/11/RAI-2023-Relatorio-de-Qualidade-de-Aguas-Interiores-2023.pdf. Acessado em: 5 de fevereiro de 2025.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357: **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, 17 de março de 2005. Ementa, Arts. 7º, 8º e 11º.

Feltman, Clementina dos Santos (org.). **Vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Rio de Janeiro: Coordenação de Desenvolvimento Educacional e Educação a Distância/Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca/Fiocruz, 2022. Pág. 74.

Marconi, Marina de Andrade; Lakatos, Eva Maria Lakatos. **Fundamentos de metodologia científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2017. Pág. 54.

MS – Ministério da Saúde. **SISAGUA: Introdução**. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador (DSAST), Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). Brasília, junho de 2022. Pág. 3-6. Disponível em: https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf. Acesso em: 10 de fevereiro de 2025.

Pixinine, Cibele. **SEMMA inicia novo estudo de balneabilidade nas praias de Santarém**. Editor: Júlio César Antunes. Notícias – Meio Ambiente. Prefeitura de Santarém, 16 de janeiro de 2025. Disponível em: https://santarem.pa.gov.br/noticias/meio-ambiente/semma-inicia-novo-estudo-de-balneabilidade-nas-praias-de-santarem-drocfd#:~:text=No%20%C3%BAltimo%20levantamento%2C%20divulgado%20em,ser%20divulgado%20em%2030%20dias. Acesso em: 6 de fevereiro de 2025.

Prodanov, Cleber Cristiano; Freitas, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Pág. 163.

Santos, Ricardo Miranda dos. **O uso de indicadores para o diagnóstico da prestação de serviço de coleta e tratamento do esgoto doméstico na cidade de Aquidauana/ms**. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 4, 2012, p. 25-42.

QUALIDADE DA ÁGUA EM MANANCIAL DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA - GO

1Luiz Carlos Andrade Fileti, 2Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann

1Universidade Federal de Goiás (UFG). Avenida Universitária 1488, Quadra 86 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, e-mail: luiz_fileti@discente.ufg.br; 2Universidade Federal de Goiás (UFG). Avenida Universitária 1488, Quadra 86 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, e-mail: kasaavedra@ufg.br

Palavras-chave: Abastecimento público; Parâmetros de qualidade; Recursos hídricos.

Introdução

A região metropolitana de Goiânia, inserida em um contexto de acelerado crescimento urbano e industrial, enfrenta desafios significativos relacionados à qualidade dos recursos hídricos. O Estado de Goiás, banhado por importantes bacias hidrográficas como a do Paraná, Araguaia-Tocantins e São Francisco, possui uma hidrografia de grande relevância para o abastecimento e manutenção dos ecossistemas locais (PNSH, 2019).

O rio Meia Ponte, principal manancial de abastecimento da região, recebe um grande volume de efluentes urbanos e industriais, impactando diretamente sua qualidade (CARVALHO et al., 2011). Nos municípios que compõem áreas metropolitanas, as atividades humanas geram impactos diretos e indiretos nos recursos hídricos, tornando essencial a adoção de estratégias sustentáveis para monitoramento e gestão da qualidade da água. Dessa forma, garantir a conservação desses recursos é fundamental para a manutenção da vida e do abastecimento nas gerações presentes e futuras. No Brasil, a Resolução CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005 estabelece os parâmetros e diretrizes para a classificação e o enquadramento dos corpos d'água, determinando os limites aceitáveis para diferentes usos e auxiliando no controle da poluição hídrica (BRASIL, 2005). Dessa forma, a adoção de critérios técnicos e normativos é fundamental para garantir a preservação dos mananciais e a segurança do abastecimento hídrico. Diante da relevância da preservação dos mananciais de abastecimento, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade da água na região de manancial de abastecimento público, com enfoque na análise dos parâmetros de qualidade no Córrego Capim Puba e no Ribeirão Anicuns.

Metodologia

Os córregos estudados pertencem à bacia do rio Meia Ponte, integrante da bacia do rio Paraná. O rio Meia Ponte nasce na serra dos Brandões, em Itauçu, e percorre 415 km até desaguar no rio Paranaíba, sendo uma das principais fontes de abastecimento hídrico da região, atendendo 37 municípios goianos. A ETA Engenheiro Rodolfo José da Costa e Silva capta e trata água, abastecendo metade da população de Goiânia e parte de dois municípios. O córrego Capim Puba tem origem no Zoológico de Goiânia e percorre 4 km antes de se unir ao Córrego Botafogo, que deságua no Ribeirão Anicuns, afluente do rio Meia Ponte.

A qualidade da água foi avaliada em dois pontos urbanos como mostra a Figura 1, distantes 2,73 km entre si: na Viela Capim Puba, Setor Aeroporto (16°39'07.5"S, 49°15'44.2"W), e na região do Crimeia Leste (16°40'17.1"S, 49°16'33.7"W). Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas da água conforme APHA (2012). As amostras foram coletadas no dia 25 de outubro de 2023, durante o período de seca, conforme diretrizes estabelecidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011).

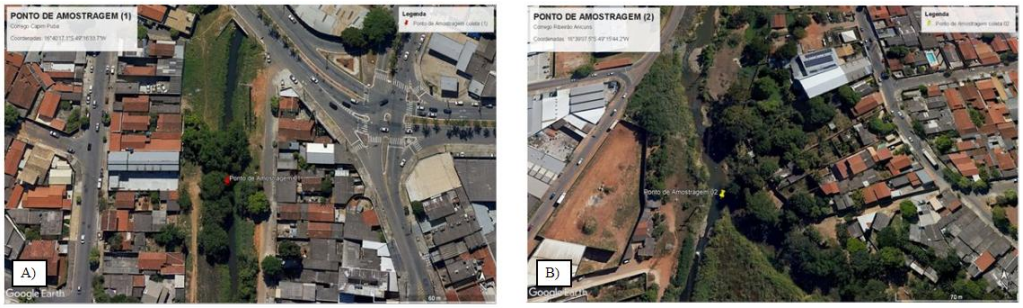


Figura 1 - Localização dos pontos de coletas 01 e 02. Fonte: Google Earth (2023)

Resultados e Discussão

Os resultados microbiológicos indicam altas concentrações de coliformes totais e *Escherichia coli* em ambos os pontos de coleta, sugerindo contaminação por material de origem fecal (Tabela 1). No Ponto 01, os coliformes totais atingiram 6.867.000 NMP/100mL, enquanto no Ponto 02 foi de 488.000 NMP/100mL. A contaminação por *E. coli* também foi alta, com concentrações superiores a 1.732.900 NMP/100mL (Ponto 01) e 72.700 NMP/100mL (Ponto 02), indicando lançamento inadequado de resíduos orgânicos.

Ponto	Coliformes totais NMP/100mL	*Escherichia coli* NMP/100mL
01	>6.867,000	>1.7329,00
02	>488.00,00	>72.700,00

Tabela 1 - Parâmetros microbiológicos da água nos Pontos 01 e 02. Fonte: Autores (2025)

Os resultados obtidos para os parâmetros físicos da água nos pontos analisados indicam que a turbidez apresentaram valores de 9,54 NTU (Ponto 01) e 9,98 NTU (Ponto 02), estando bem abaixo do limite de 40 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA para águas de Classe 1. A cor aparente foi maior no Ponto 01 (151 Pt/L) do que no Ponto 02 (100 Pt/L), ultrapassando o limite de 75 Pt/L, o que pode indicar influência de sólidos ou matéria orgânica dissolvida (VON SPERLING, 2005). A condutividade elétrica apresentou valores de 311,3 µS/cm (Ponto 01) e 301 µS/cm (Ponto 02), o que pode estar associado à presença de sais dissolvidos na água, embora não haja limite estabelecido pelo CONAMA para esse parâmetro. Já a temperatura da água variou entre 26 e 27°C, um valor dentro da faixa esperada para corpos hídricos (Gráfico 1).

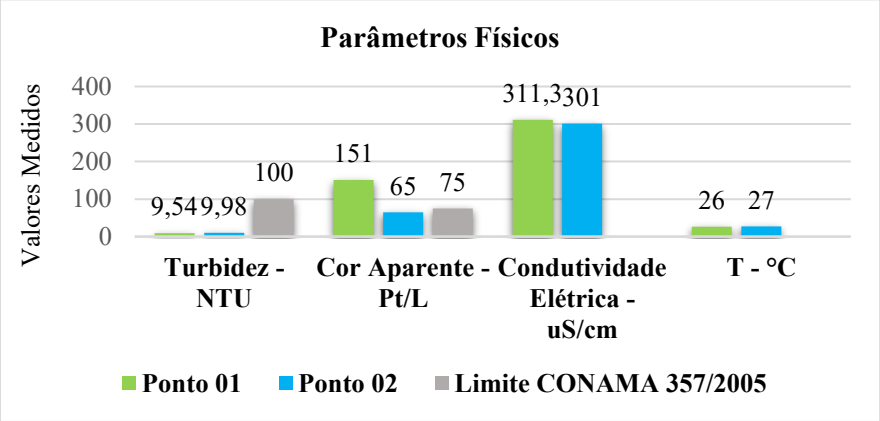


Gráfico 1 – Parâmetros Físicos da água nos pontos 01 e 02. Fonte: Autores (2025)

Os resultados dos parâmetros químicos indicam que o Nitrogênio Total apresentou valores de 3,9 mg/L (Ponto 01) e 21,16 mg/L (Ponto 02), sendo que este último excede significativamente o limite de 2,18 mg/L estabelecido para ambientes lóticos pela Resolução CONAMA. O Fósforo Total também apresentou valores elevados, especialmente no Ponto 01 (3,1 mg/L), muito acima do limite de 0,03 mg/L, sugerindo forte contribuição de fontes antrópicas, como esgotos domésticos e efluentes industriais. O Ortofosfato seguiu a mesma tendência, com concentrações de 4,17 mg/L (Ponto 01) e 1,18 mg/L (Ponto 02), indicando potencial risco de eutrofização. Já os valores de pH permaneceram dentro da faixa estabelecida pelo CONAMA (6,0 a 9,0), variando entre 6,33 (Ponto 01) e 6,1 (Ponto 02) (Gráfico 2).

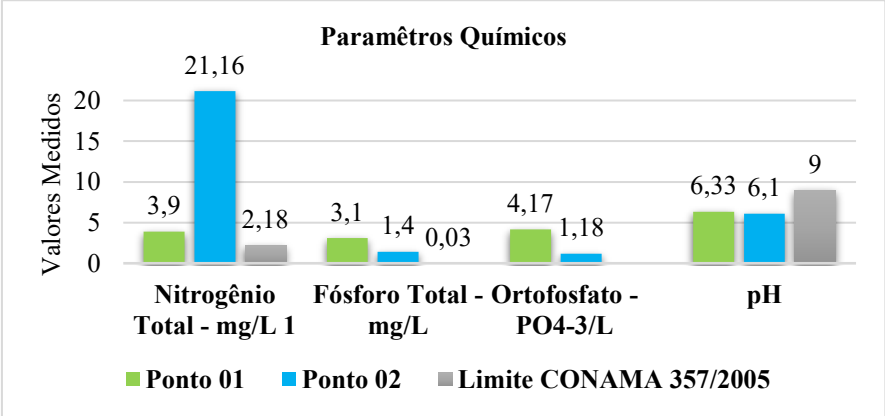


Gráfico 2 – Parâmetros Químicos da água nos pontos 01 e 02. Fonte: Autores (2025)

Os resultados obtidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio indicam valores elevados nos dois pontos de coleta, sendo 90 mgO_2/L (Ponto 01) e 42 mgO_2/L (Ponto 02), ambos muito acima do limite de 5 mgO_2/L estabelecido pelo CONAMA para águas de Classe 2. Esse aumento na DBO sugere uma alta carga de matéria orgânica biodegradável, o que pode levar à redução do oxigênio dissolvido. Ao contrário dos resultados obtidos nesta pesquisa, em outros estudos realizados em três pontos na mesma região geográfica, os valores obtidos (3,67, 4,21 e 3,14 mg O2/L) estavam em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela resolução (SILVA, M. R.; Hoffmann, N. K. S. A, 2023). A Demanda Química de Oxigênio também apresentou valores

expressivos, atingindo 195,3 mg/L (Ponto 01) e 125,9 mg/L (Ponto 02). Embora a DQO não tenha um limite estabelecido pelo CONAMA, valores elevados indicam a presença significativa de matéria orgânica e compostos não biodegradáveis (Gráfico 3).

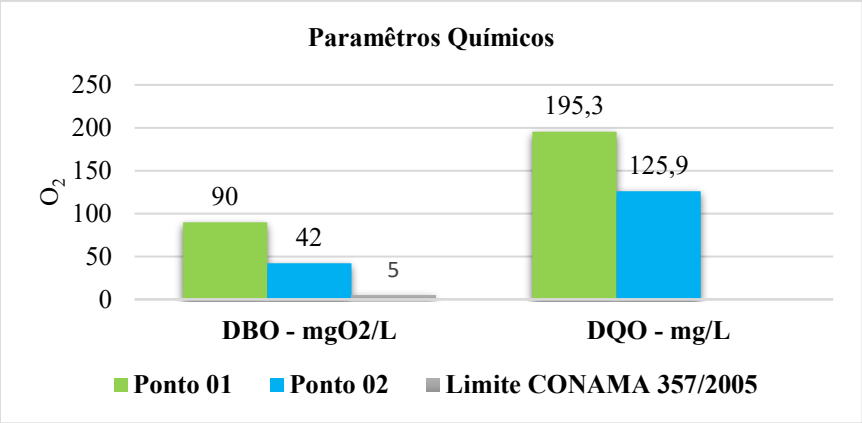


Gráfico 3 – Parâmetros Químicos da água nos pontos 01 e 02. Fonte: Autores (2025)

Conclusões

Os resultados da avaliação da qualidade da água nos pontos analisados indicaram altas concentrações de poluentes orgânicos e inorgânicos, além de significativa contaminação microbiológica, evidenciada pela presença de *Escherichia coli* e coliformes totais. A elevada concentração de nutrientes, como nitrogênio total e fósforo, representa um risco, podendo favorecer processos de eutrofização. Diante desse cenário, torna-se essencial fortalecer o monitoramento contínuo, implementar estratégias de gestão ambiental eficazes e adotar medidas preventivas e corretivas para a mitigação da poluição hídrica, garantindo a qualidade e a disponibilidade dos mananciais para o abastecimento público.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2011. Guia Nacional de coleta e preservação de amostras. Brasília.

BRASIL. 2005. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, p. 58-63.

CARVALHO, G. L.; QUEIJA DE SIQUEIRA, E. 2011. Qualidade da Água do Rio Meia Ponte no Perímetro Urbano do Município de Goiânia - Goiás. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 2, n. 1.

PNSH – 2019. Agência Nacional de Água (ANA). Brasília. Disponível em: https://pnsh.ana.gov.br.

SANEAGO. 2009. Relatório: repovoamento da vida aquática no Rio Meia Ponte. Goiânia. 3 p.

SILVA, M. R.; HOFFMANN, N. K. S. A. 2023. Avaliação microbiológica e físico-química da água do córrego Capim Puba em Goiânia-GO. UFG – EECA.

VON SPERLING, M. 2005. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA-UFMG, 2ª ed.

INTRUSÃO SALINA NO CANAL SÃO GONÇALO E SUAS CONSEQUÊNCIAS NOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

1Arlene Fehrenbach, 2Nelva Bugoni Riquetti, 3Jamilson do Nascimento, 4Gilberto Loguercio Collares, 5Franciéle Schwanck Carlos

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: arlenefehrenbach@outlook.com; 2Universidade Federal de Pelotas, e-mail: nelva.bugoni@gmail.com; 3Universidade Federal de Pelotas, e-mail: jamilson.nascimento.ufpel@gmail.com; 4Universidade Federal de Pelotas, e-mail: gilbertocollares@gmail.com; 5Univesidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: schwanck.carlos@ufrgs.br

Palavras-chave: salinidade; recursos hídricos; segurança hídrica.

Resumo

O Canal São Gonçalo conecta a Laguna dos Patos à Lagoa Mirim, configurando-se como um corpo hídrico de grande importância para a região sul do Brasil. Suas águas são utilizadas para múltiplos fins, como abastecimento público, irrigação, navegação e atividades recreativas. Esses usos foram viabilizados pela construção da Barragem e Eclusa do Canal São Gonçalo, cuja principal função é impedir a intrusão salina proveniente do Oceano Atlântico, que pode adentrar pela Laguna dos Patos e comprometer a qualidade da água da Lagoa Mirim. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia dessa obra de engenharia no controle do avanço da salinização na porção sul do Canal São Gonçalo e da Lagoa Mirim, considerando seus quase cinquenta anos de operação contínua, sem intervenções de revitalização ou modernização. Foi constatado que em situações de intrusão de água salgada, as comportas da barragem demonstram eficiência em bloquear o avanço da salinidade em direção ao montante. No entanto, é necessário realizar avaliações contínuas para monitorar os limites dessa intrusão, considerando o funcionamento diário da eclusa, que realiza quatro aberturas para a navegação.

Introdução

O aumento da população tem impulsionado a crescente demanda por recursos naturais, com a água se destacando como um recurso de atenção prioritária. Isso se deve à sua importância fundamental para a sustentação da vida, sendo imprescindível garantir sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades da sociedade (MONTEFUSCO et al., 2023). Desta forma, é primordial que ocorra a correta gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, sendo fundamental o desenvolvimento de políticas de gerenciamento de recursos hídricos, que atendam às necessidades sociais, em consonância com o ordenamento territorial e ambiental. O planejamento dos recursos hídricos estimula a criação de planos de desenvolvimento econômico, integrando a ocupação e o uso do solo à disponibilidade de água (Leal, 2012; Silva et al., 2021).

A bacia hidrográfica é considerada como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, institucionalizada pela Lei Federal nº 9.433/1997, que implementou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), visando desenvolver políticas públicas de melhoria na oferta de água. No entanto, a bacia hidrográfica é a unidade fundamental para o estudo dos componentes do ciclo hidrológico e de planejamento, integrando sistemas ecológicos e hidrológicos, além de considerar as alterações nos padrões de uso do solo e suas implicações (Cutts et al. 2018; Silva et al., 2021).

No presente estudo abordamos a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG), que é uma bacia transfronteiriça, situada no extremo sul do Brasil e leste do Uruguai e que sofre com ocorrência da intrusão salina, devido a conexão que a Laguna dos Patos possui com o Oceano Atlântico. O principal corpo de água da BHMSG é a Lagoa Mirim, sendo esta conectada com a Laguna dos Patos através de um canal natural, o denominado Canal São Gonçalo (CSG), compondo assim o maior sistema lagunar da América do Sul (Oliveira et al., 2015). Para impedir que a salinidade avançasse por todo o sistema, foi construída a Barragem e Eclusa do Canal São Gonçalo (BECSG), sendo inaugurada no ano de 1977. Com a adoção do sistema de barramento, em períodos em que há intrusão salina, as águas à montante permanecem com características doces, enquanto aquelas situadas à jusante estarão sujeitas ao processo de salinização, afetando os seus usos múltiplos, isso sem mencionar a possibilidade de salinização das águas subterrâneas e os solos da região (Souza, 2015).

Cabe destacar que manter o padrão de água doce é fundamental para a região, na medida que as águas do CSG e da Lagoa Mirim são utilizadas para diversos fins, com destaque para a irrigação, tendo em vista a propensão agrícola da região, principalmente para o cultivo do arroz irrigado. Com a construção da BECSG, foi possível abastecer o município de Rio Grande com água de qualidade, sendo o CSG o principal manancial utilizado para o abastecimento público desde o ano de 1980, da mesma forma que o manancial ampliará em 50% a distribuição de água na cidade de Pelotas (ALM, 2023). No entanto, a construção da BECSG propiciou os usos múltiplos da água da Lagoa Mirim e do CSG, trazendo segurança hídrica às lavouras existentes, assim como o aumento da área cultivada e abastecimento com água potável a municípios da região, promovendo o desenvolvimento econômico.

Diante dos quase 50 anos de operação ininterruptos da obra, desprovida de práticas de revitalização e modernização, em que foram realizados apenas reparos corretivos e paliativos, questiona-se a eficácia da obra em conter a intrusão salina, bem como a movimentação de entrada de sal na porção a montante durante as ações de eclusagem. Assim, para averiguar tal eficácia, foram utilizados dados do Laboratório de Águas e Efluentes da Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM), que realiza um monitoramento contínuo da qualidade das águas na BHMSG em território brasileiro, com análises mensais.

Área de Estudo

A área de estudo se encontra inserida na BHMSG, que, de acordo com Oliveira et al. (2015), é uma região complexa devido a sua importância política, por ser uma bacia binacional. A BHMSG situa-se no extremo sul do Brasil e na zona leste do Uruguai, com uma extensão de 62.250 km^2, destes, 33.000 km^2 abrangem o território uruguaio e 29.250 km^2 o território brasileiro, conforme ilustrado na Figura 1 (ALM, 2023). O monitoramento realizado pelo Laboratório de Águas e Efluentes da ALM no CSG é feito em quatro pontos distintos, como consta na Figura 1, sendo dois destes situados a jusante da BECSG (Barra e Anglo) e dois a montante (Eclusa-Montante e Santa Isabel).

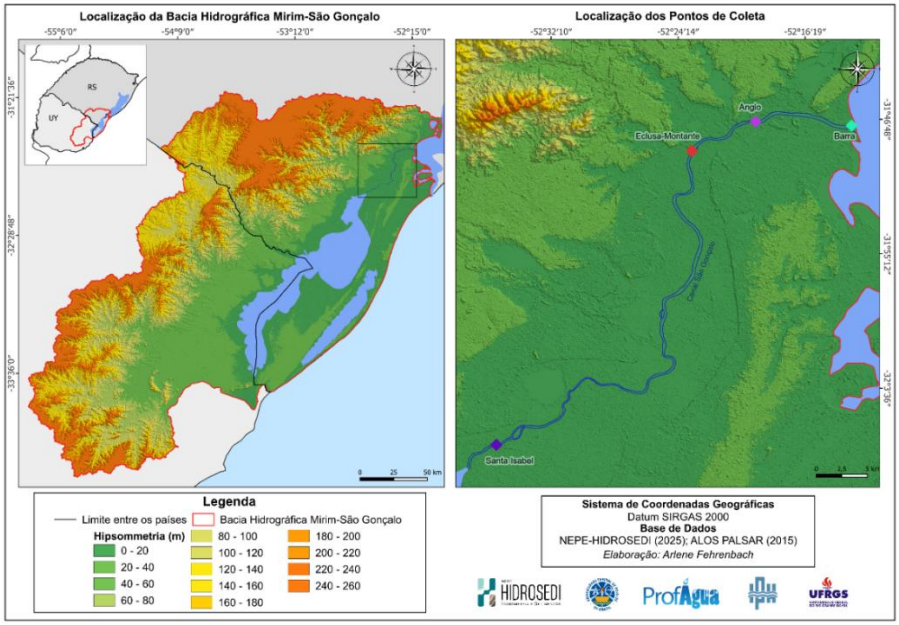


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e dos Pontos de Coleta.

Metodologia

O laboratório analisa distintos parâmetros de qualidade da água, mas como o objetivo do presente trabalho é analisar a presença de salinidade no corpo hídrico, foram utilizados apenas a condutividade elétrica, salinidade, sólidos totais e turbidez, uma vez que estes parâmetros se encontram correlacionados. Os dados fornecidos abrangem o período de janeiro a dezembro de 2023, englobando diferentes fases do ciclo hidrológico e, consequentemente, distintos processos ocorrentes no canal. Vale ressaltar que o Laboratório de Águas e Efluentes da ALM segue as normas descritas no *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* para a coleta, transporte, preservação, armazenamento e análise das amostras.

Resultados

Na Figura 2 estão expressos os resultados dos parâmetros analisados, em que é possível analisar a ocorrência da intrusão salina nos pontos da Barra e Anglo, tendo em vista que tais pontos estão próximos a Laguna dos Patos, que faz conexão com o Oceano Atlântico. Na Barra, a concentração máxima de salinidade ocorreu no mês de março, atingindo o valor de 16 ppt, mantendo-se acima do que a Resolução CONAMA n° 357/2005 preconiza para águas doces até o mês de agosto, quando o teor de salinidade diminuiu para 0,06 ppt e se mantendo nesta faixa até o final do ano, indicando que não houve mais intrusão salina. No ponto do Anglo, a concentração máxima de salinidade ocorreu no mês de abril, quando atingiu o patamar de 12,6 ppt, e assim como na Barra, diminui para 0,06 ppt em agosto e mantendo-se nesta faixa até o final do ano.

Nos momentos de intrusão salina, os valores de turbidez são consideravelmente menores do que naqueles momentos em que a água se encontra doce, e isto se dá devido a relação direta da salinidade com a velocidade de sedimentação das partículas, fazendo com que as partículas coloidais suspensas se sedimentem rapidamente com a presença de sal (Ribeiro, 2014). Cabe destacar ainda que a turbidez também possui correlação direta com o período de chuva e vazante do canal. Ou seja, quando há maior precipitação na porção sul, o canal aumenta a sua vazão, aumentando a energia de transporte de sedimentos, consequentemente aumentando a turbidez (Peixoto et al., 2020).

Quanto aos pontos a montante (Eclusa-Montante e Santa Isabel), não há intrusão salina devido a presença da BECSG. Consequentemente, os valores de salinidade, condutividade elétrica e sólidos totais praticamente não são visualizados nos respectivos gráficos. Porém, para o ponto da Eclusa, nos meses de maio e junho foram identificados valores levemente acima do que a Resolução CONAMA n° 357/2005 estabelece para o enquadramento para águas doces, sendo que foram registrados os valores de 540 e 570 ppm, respectivamente. Tal fato decorre devido ao ponto de análise se encontrar próximo da caixa de eclusagem, fazendo com que possa adentrar água salgada nos momentos em que a eclusa é aberta para possibilitar a passagem dos barcos. Já para Santa Isabel os valores de salinidade se mantiveram estáveis, na ordem de 50 a 80 ppm. Quanto a turbidez, nota-se que ela apresentou valores elevados, quando comparado com os momentos de intrusão salina nos pontos da Barra e Anglo.

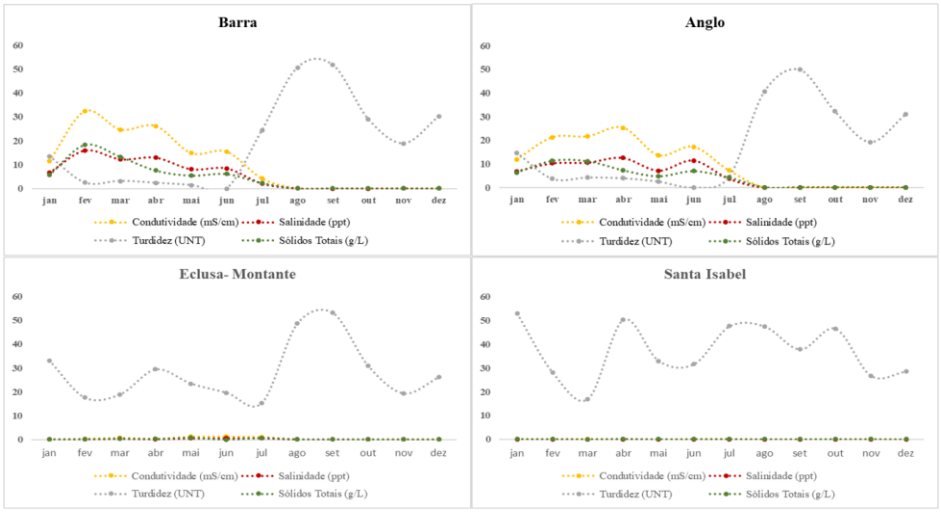


Figura 2: Resultados dos parâmetros analisados nos distintos pontos.

Conclusão

A realização desse trabalho possibilitou avaliar a efetividade da BECSG quanto a intrusão salina. A avaliação demonstrou que durante os momentos em que há intrusão da água salgada, as comportas da barragem são eficientes para conter o avanço da salinidade para montante, possibilitando os usos múltiplos da água.

Agradecimentos

O trabalho foi realizado com apoio do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas – NEPE-HIDROSEDI, da Universidade Federal de Pelotas. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua.

Referências Bibliográficas

ALM, **Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim**. Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa, 2023. Disponível em: https://agencialagoamirim.com.br/barragem-eclusa/. Acesso em 10 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 de jan. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 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.

Cutts B. B.; Greenlee, A. J.; Prochaska, N. K.; Chantrill, C. V.; Contractor, A. B.; Wilholt, J. M.; Abts, N.; Hornik, K. 2018. Is a clean river fun for all? Recognizing social vulnerability is watershed planning. **PLOS ONE,** p. 1-21.

Leal, A. C. 2012. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos. **Entre-lugar**, Dourados, v. 3, n. 6, p. 65-84.

Montefusco, C. L. A.; Cruz, W. M.; Tamwing, D. S.; Serrano, O. P.; Moreira, J. G. V. 2023. Relação da demanda por água e disponibilidade hídrica do rio Acre frente ao crescimento populacional do município de Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 05, p. 2920-2940.

Peixoto, R. A. O.; Pereira, C. E.; Salla, M. R.; Filho, J. E. A.; Nishimura, A. 2020. Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 921-931.

RIBEIRO, F. A. M. **Estudo Laboratorial de Sedimentos Coesivos da Ria de Aveiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 134 p. 2014.

Silva, F. L.; Fushita, A. T.; Cunha-Santino, M. B.; Bianchini Júnior, I.; Veneziani Júnior, J. C. T. 2021. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 13, p. 1626-1653.

Souza, M. F. 2015. **Qualidade da água do canal São Gonçalo-RS/Brasil – uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DESAFIOS PARA CONSERVAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA URBANIZADOS EM ECOSSISTEMAS SUL-AMAZÔNICOS

1José Lucas Gahú Prestes, 2Jeissy Adiene Queiroz Santana, 3Marcelo Pebles Gomes Pinto, 4Adalcir Araújo Feitosa Júnior, 5Marcelo Rodrigues dos Anjos

1 Universidade Federal do Amazonas, e-mail: jose.prestes@ufam.edu.br; 2 Universidade Federal da Paraíba, e-mail: jeissyadiene@gmail.com; 3 Universidade Federal do Amazonas, e-mail: marcelopebles29@gmail.com; 4 Universidade Federal do Amazonas, e-mail: adalcirjunior@ufam.edu.br; 5 Universidade Federal do Amazonas, e-mail: anjos@ufam.edu.br

Palavras-chave: Impactos Ambientais; Igarapés; Qualidade da Água.

Introdução

A conservação dos riachos urbanos é essencial para o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida das populações em seu entorno. Em Humaitá, sul do Amazonas, esses cursos d'água sofrem influência da expansão urbana desordenada e da baixa aplicação de investimento em saneamento básico, o que resulta na decadência da qualidade da água e na redução da biodiversidade (Oliveira et al., 2018). Esta situação, revela vulnerabilidades nas políticas públicas urbanas e ambientais, que demandam a implementação de medidas integradas que favoreçam o planejamento territorial favorecendo a conservação dos recursos hídricos. Contribuem para esse cenário o despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento, o carreamento de sedimentos e produtos agrícolas, a retirada da vegetação ciliar e a alteração do curso natural dos igarapés (Oliveira et al., 2018). Mais que um problema ambiental, trata-se de uma questão social e de saúde pública, que exige pensar a cidade em conexão com os ecossistemas que a sustentam. A baixa concentração de oxigênio dissolvido, agravada pelo acúmulo de matéria orgânica e pela eutrofização, compromete a estrutura das comunidades de peixes, favorecendo a depleção de espécies nativas e reduzindo a diversidade biológica (Costa et al., 2023).

Essas mudanças silenciosas, mas significativas, alertam para a urgência de monitorar não apenas os impactos visíveis, mas também os processos químicos e biológicos que afetam a vida aquática. Diante da crescente degradação dos recursos naturais, os diagnósticos ambientais tornam-se fundamentais para identificar os principais impactos sobre os mananciais e orientar ações de conservação. Este estudo apresenta uma avaliação ambiental realizada nos igarapés urbanos de Humaitá-AM, utilizando o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) associado à análise de parâmetros físico-químicos da água. Com base nisso, o objetivo principal do estudo foi avaliar a qualidade ambiental destes igarapés, contribuindo para o entendimento dos impactos ambientais locais e o planejamento de estratégias de manejo mais eficazes.

Metodologia

A coleta de dados foi conduzida entre os períodos de seca e enchente, foram selecionados dois afluentes do Rio madeira para a análise, sendo divididos em Igarapé 1 (7°31'19.89"S e 63°1'43.46"O) e Igarapé 2 (7°30'57.92"S e 63° 1'32.52"O), ambos localizados no município de Humaitá-AM (-07°30'22"S e 63°01'15"W). Foram definidos 26 pontos de monitoramento distribuídos nos bairros São José, São Francisco, São Cristóvão, Santo Antônio e Centro, selecionados com base na acessibilidade, presença de ocupação urbana e pressão antrópica intensa, com o objetivo de verificar a influência direta da atividade humana de caráter poluente na qualidade ambiental dos corpos hídricos (Figura 1).

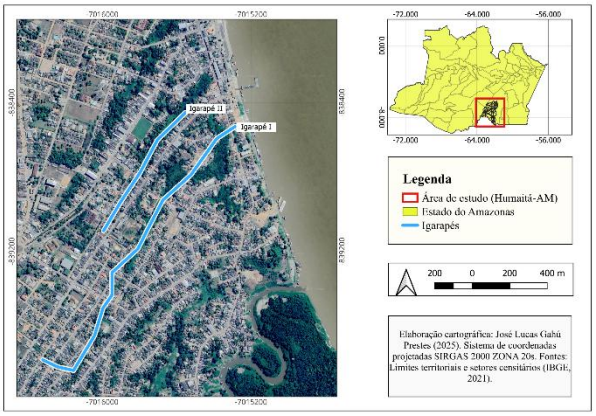


Figura 1. Mapeamento dos igarapés I e II analisados com o PAR em Humaitá-AM.

A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), conforme a metodologia proposta por Callisto et al. (2002), a e modelo ocorreu entre 09:00 e 12:00 em um único dia, simultaneamente ao levantamento de dados físico-químicos nos dois

igarapés. Utilizou-se uma sonda multiparâmetros de marca Hanna e modelo HI98194 para as medições de pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (OD). O PAR, metodologia prática e acessível, é particularmente adequado para ambientes urbanos sob intensa pressão antrópica. Ele permite uma avaliação integrada da qualidade ambiental a partir de observações diretas de múltiplos indicadores ecológicos e estruturais, como a condição do leito e dos sedimentos, conservação das margens, sinais de erosão, presença de resíduos sólidos, modificações no canal, lançamento de esgoto, oleosidade da água, diversidade faunística e odor (Castello Branco Jr. et al., 2020).

Um dos diferenciais PAR está em sua abordagem holística, que considera múltiplos aspectos ambientais de forma integrada. Essa característica permite uma compreensão ampla da qualidade ambiental, ao mesmo tempo em que estimula o engajamento da comunidade na observação e preservação dos corpos hídricos. Estudos demonstram que o PAR tem se mostrado eficaz por ser acessível e por contribuir de forma significativa com o planejamento e o monitoramento de mananciais urbanos (Castello Branco Jr. et al., 2020). O processo de análise dos dados ocorreu por meio de medições físico-químicas e da aplicação do PAR, no qual cada um dos 11 parâmetros ambientais avaliados, como erosão, presença de lixo, esgoto, fauna e vegetação ripária, recebeu pontuações de 0 (pior condição) a 10 (melhor condição), sendo a soma dessas notas utilizada para classificar a qualidade ambiental dos igarapés como ruim (0 a 50), regular (55 a 70), bom (75 a 95) ou ótimo (100 a 110).

Resultados e Discussões

A análise do Igarapé I (Gráfico 1) revelou que a maioria dos trechos apresentou uma classificação "Ruim", com exceção dos trechos T1, T9, T11 e T13, que foram classificados como "Bom" ou "Regular". Esses resultados indicam uma forte pressão antrópica, especialmente nos trechos T2 a T8, que apresentaram as menores somas, evidenciando problemas graves de erosão e presença de lixo. Estudos realizados em áreas urbanas confirmam que a ocupação desordenada das margens e o despejo de esgoto não tratado são fatores determinantes na degradação da qualidade ambiental dos corpos d'água, sendo estes em sua grande maioria prejudiciais ao ecossistema (Oliveira et al., 2018).

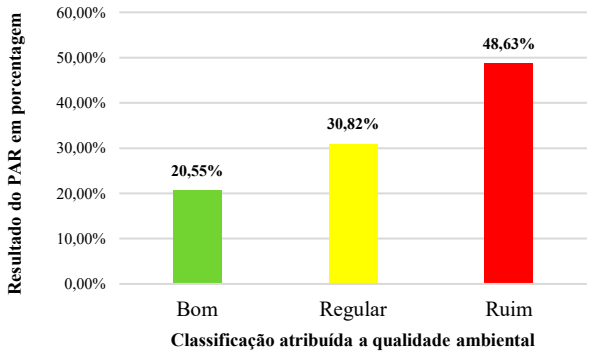


Gráfico 1. Resultado do PAR para o igarapé I.

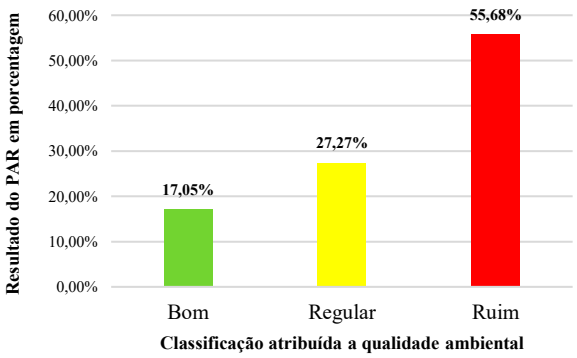


Gráfico 2. Resultado do PAR para o igarapé II.

O Igarapé II (Gráfico 2) apresentou uma condição geral "Ruim", com exceção do trecho T3, classificado como "Bom". Esse trecho demonstrou menor influência antrópica em comparação aos demais, sugerindo que áreas menos urbanizadas ou com maior cobertura vegetal tendem a apresentar melhor qualidade ambiental. Estudos indicam que a vegetação ripária desempenha um papel fundamental na manutenção da qualidade da água em corpos d'água urbanos (Lima et al, 2010; Okumura et al., 2020). A análise da qualidade da água dos igarapés I e II (Tabela 1) revelou um cenário misto. O pH permaneceu dentro dos padrões ideais para a vida aquática, indicando um ambiente equilibrado. A temperatura também se manteve adequada para ecossistemas tropicais, favorecendo as condições para os organismos aquáticos.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água.

Parâmetro	Igarapé I	Igarapé II	Faixa (mín–máx)	Média ± DP (*n* = 2)
pH	7,57	7,65	7,57 – 7,65	7,61 ± 0,057
Temperatura (°C)	26,14	27,44	26,14 – 27,44	26,79 ± 0,919
Condutividade (µS/cm)	305	386	305 – 386	345,5 ± 57,27
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	3,89	3,40	3,40 – 3,89	3,65 ± 0,35

Nota: As estatísticas apresentadas na tabela foram calculadas a partir de duas observações (*n* = 2), correspondentes às medições dos pontos: Igarapé I e Igarapé II. Onde *n* indica o número total de amostras utilizadas no cálculo de cada parâmetro e DP é o desvio padrão.

No entanto, os elevados valores de condutividade elétrica observados sugerem uma maior concentração de substâncias dissolvidas na água, possivelmente relacionadas a atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos e o escoamento superficial de poluentes urbanos. O principal fator crítico identificado foi a baixa concentração de oxigênio dissolvido, abaixo dos níveis considerados adequados para a manutenção de uma comunidade aquática equilibrada conforme os parâmetros estabelecidos por Brasil (2005). Tal deficiência pode indicar o acúmulo excessivo de matéria orgânica, promovendo processos de decomposição aeróbica intensos que consomem o oxigênio disponível, dificultando a respiração dos organismos e comprometendo a estabilidade do ecossistema (Costa et al., 2023).

Conclusão

A presente pesquisa evidenciou um preocupante cenário de degradação ambiental dos igarapés urbanos de Humaitá, com a maioria dos trechos analisados apresentando condições críticas de qualidade da água. Os dados obtidos indicaram, de forma consistente, não apenas baixos níveis de oxigênio dissolvido, mas também a presença de poluentes associados ao crescimento urbano desordenado e à ausência de infraestrutura adequada de saneamento básico. Esse cenário é agravado pela falta de um sistema ou uma política eficiente de esgotamento sanitário e doméstico, bem como pela inexistência de um sistema de drenagem integrado ao plano diretor da cidade que não negligencie os igarapés urbanos como parte essencial do sistema de urbanização e drenagem. Sob a perspectiva metodológica, a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) demonstrou ter sido uma ferramenta eficaz e acessível para o monitoramento ambiental.

Do ponto de vista científico, os resultados reforçam a necessidade de ações interdisciplinares que articulem a gestão ambiental ao planejamento urbano. Nesse sentido, é imprescindível que o poder público adote medidas estruturantes, como a ampliação do saneamento básico, a recuperação de áreas degradadas e a implementação de programas permanentes de educação ambiental, com vistas à mitigação dos impactos identificados. Para isso, recomendam-se medidas como: reflorestamento das margens com espécies nativas; ampliação do saneamento básico para reduzir o lançamento de efluentes nos igarapés; criação de áreas de preservação permanente no perímetro urbano; programas de educação ambiental voltados à conscientização da população; monitoramento contínuo da qualidade da água; e incentivo à participação comunitária na gestão ambiental. Tais ações serão fundamentais para garantir a recuperação e a sustentabilidade desses ecossistemas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Ictiologia e Ordenamento Pesqueiro do Vale do Rio Madeira (LIOP) e a toda a equipe pelo apoio fundamental no desenvolvimento desta pesquisa durante o processo de coleta e interpretação dos dados.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Estabelece as classes de corpos de água e os critérios de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

Callisto, M.; Ferreira, W. R.; Moreno, P.; Goulart, M.; Petrucio, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). Acta Limnologica Brasiliensia, v. 14, n. 1, p. 91–98. Disponível em: https://jbb.ibict.br/handle/1/708. Acesso em: 16 abr. 2025.

Castello Branco Jr., A.; Lacerda de Souza, L. 2020. Protocolo de avaliação rápida como ferramenta de gestão de recursos hídricos urbanos. Revista Mineira de Recursos Hídricos, v. 1, n. 2, p. 1–19. Disponível em: https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/197. Acesso em: 12 abr. 2025. DOI: https://doi.org/10.59824/rmrh.v1i2.197.

Costa, J. H. A. da; Souza, U. P. 2023. Abaixo da superfície: explorando a relação entre distribuição de peixes e oxigênio dissolvido em bancos de macrófitas do Lago Catalão, Amazônia Central. UNISANTA Bioscience, v. 12, n. 4, p. 252–263. Disponível em: https://periodicos.unisanta.br/index.php/bioscience/article/view/3800. Acesso em: 12 abr. 2025.

Lima, D. A. de S. 2010. Influência da mata ciliar na qualidade da água na bacia do Ribeirão Lajeado - TO. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/32362. Acesso em: 12 abr. 2025.

Okumura, A. T. R.; Silva, A. G. da. 2020. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso do solo e cobertura vegetal. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 4, p. 1835–1850. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850. Acesso em: 12 abr. 2025.

Oliveira, L. F. de; Oliveira, B. O. S. de. 2018. Avaliação da qualidade da água de três córregos na área urbana de Humaitá, Amazonas. Revista de Ciências Ambientais, v. 12, n. 3, p. 25–33. Disponível em: https://doi.org/10.18316/rca.v12i3.3606. Acesso em: 12 abr. 2025.

IMPACTO DEL CAMBIO DE FOTOPERIODO EN EL CRECIMIENTO Y METABOLISMO DE MICROALGAS (*CHLORELLA VULGARIS*)

1Dorantes-Durán Montserrat, 2Pérez-Talavera Regina, 3Bennetts-Cruz Pablo Jesús, 4González-Silva Praga Alondra, 5Jorge da Silva Diego, 6San Martín-Azócar Alejandra Lorena, 7Lagoas da Silva Graziele Ruas

1Tecnológico de Monterrey, e-mail: A01749279@tec.mx; 2Tecnológico de Monterrey, e-mail: A01709883@tec.mx; 3Universidade Tecnológico de Monterrey, e-mail: A01705823@tec.mx; 4Universidade Tecnológico de Monterrey, e-mail: A01710714@tec.mx; 5São Paulo State University (UNESP), School of Engineering Bauru, e-mail: diego.j.silva@unesp.br; 6Tecnológico de Monterrey, e-mail: alsmartin@tec.mx; 7São Paulo State University (UNESP), School of Engineering Bauru, e-mail: graziele.ruas@unesp.br

Palabras clave: Microalgas; *Chlorella vulgaris*; clorofila.

Introducción

Las microalgas son organismos microscópicos unicelulares, se caracterizan por presentar altas tasas de reproducción, gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, ciclo biológico breve y alta eficiencia fotosintética, siendo capaces de convertir la energía solar en biomasa con una eficiencia de dos a cinco veces mayor que las plantas. Además, son responsables de una parte del oxígeno presente en la atmósfera y son fuente de energía. Entre las microalgas dulceacuícolas, *Chlorella* es uno de los géneros más estudiados, describiéndose hasta la fecha unas 44 especies. Sin embargo, cinco son de gran interés comercial: *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa*, *C. ellipsoidea, C. sorokiniana* y *C. kessleri* (Gómez et al., 2022).

Se han probado muchas técnicas de crecimiento para optimizar la producción de biomasa y el contenido de lípidos, proteínas, carbohidratos y pigmentos en *C. vulgaris*. Los factores influyen en la aparición y acumulación de floraciones de microalgas en aguas superficiales son la luz, temperatura, pH y concentraciones de nutrientes. De esta manera, los modelos cinéticos son una herramienta indispensable para el estudio de la productividad de las microalgas. Estos aportan una base para el diseño del biorreactor y permiten la optimización del proceso. Los modelos cinéticos se utilizan para describir el crecimiento celular, basándose en coeficientes de entrada (nutrientes, intensidad lumínica y temperatura) y de salida (biomasa y concentraciones de producto) (González et al., 2023). No sólo la intensidad de la luz influye en el metabolismo de las microalgas, sino también el fotoperiodo. Entonces, el objetivo de este trabajo es determinar el efecto de diferentes fotoperiodos en el crecimiento y producción de metabolitos secundarios como la clorofila en *C. vulgaris*, y así permitir la optimización en la obtención de biomasa final. Para esto, se realizaron dos cultivos de *C. vulgaris* con diferentes fotoperiodos (20h luz x 4h oscuridad y 20h oscuridad x 4h luz) de luz blanca, durante 7 días, además de evaluar la producción de clorofila por medio del método tricromático de clorofila.

Metodología

Para el crecimiento de *C. vulgaris*, se empleó el medio de cultivo Bold's Basal Medium Agar (BBM). Adicionalmente, se incorporaron 3 mL de una solución de micronutrientes (Ácido bórico (H_3BO_3), Sulfato de manganeso ($MnSO_4 \cdot H_2O$), Sulfato de zinc ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), Molibdato de sodio ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$), Sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) y Cloruro de cobalto ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)) de una proporción de 1 mL/L. El pH del medio se ajustó a 6.8 mediante la adición de NaOH. (AlgaeBank, 2022; Bischoff, H. W., & Bold, H. C., 1963).

El proceso de cultivo se sometió a un sistema fototrópico controlado, utilizando un fotobiorreactor tipo columna de burbujas con un volumen total de 4.29 L, con dimensiones de 38 cm de longitud y 12 cm de diámetro. Para favorecer el intercambio de CO_2/O_2 en el medio de cultivo y promover la mezcla, se suministró oxígeno a una tasa constante de 2 L/min. La iluminación se proporcionó con fuentes de luz blanca de 10.2 W y una intensidad de 1500 Flux. El fotobiorreactor fue sometido bajo dos condiciones de fotoperiodo: el primer experimento con 20 horas de luz y 4 horas de oscuridad, y el segundo experimento con 20 horas de oscuridad y 4 horas de luz.

Para ambos experimentos se realizó una diferente concentración del inóculo. En el primer experimento, se empleó un 12.96% (v/v) de inóculo proporcionado por Algae Bank® de *C. vulgaris* y en el medio de cultivo BBM preparado. Para el segundo experimento, se incorporó un 30.43% (v/v) de inóculo, del cual el 21.74% (v/v) fue proporcionado de la columna generada por los profesores. El 8.70% (v/v) restante fue proveniente del inóculo preparado del primer experimento en el medio de cultivo BBM. Para la determinación de la biomasa por peso seco, se realizó empleando las directrices de la APHA (2017).

Para la determinación de la biomasa por densidad óptica, se tomaron muestras diarias del biorreactor en ambos experimentos por duplicado y se midió la absorbancia a 650 nm en un espectrofotómetro para evaluar el crecimiento celular de *C. vulgaris*. Para su análisis se generaron gráficas de curvas de calibración para ambos experimentos. Este método nos permite evaluar el crecimiento de *C. vulgaris* al medir la cantidad de luz que transmite la muestra del biorreactor (Cognita Conecta, 2023).

Para el conteo celular de *C. vulgaris* se utilizó la cámara de Neubauer para ambos experimentos. Para el análisis de clorofila, se realizó el método tricromático.

Resultados

Tabla 1 muestra los resultados de las condiciones probadas.

Tabla 1 - Resultados obtenidos de peso seco.

No. Experimento	No. Filtro	Peso Inicial	Peso Final	Biomassa Final
1	82	0.123 mg	119 mg	118.877 mg/mL
2	42	0.127 mg	130 mg	129.873 mg/mL

Fonte: Elaborado pelos autores

Los resultados muestran una mayor producción de biomasa en el experimento 2, lo que sugiere que el fotoperiodo aplicado en esta condición (20 horas de oscuridad y 4 horas de luz) favoreció un mejor crecimiento de *C. vulgaris*. Estos valores reflejan la capacidad de esta alga en generar biomasa bajo diferentes condiciones de iluminación.

El crecimiento de biomasa en cada experimento fue evaluado mediante la medición de la densidad óptica a DO_{650} en función del tiempo, permitiendo estimar la acumulación de biomasa en las condiciones establecidas. En el experimento 1, la tendencia de crecimiento mostró un incremento progresivo en la densidad óptica y un coeficiente de determinación R^2=0.7915, indicando una correlación moderadamente alta entre el tiempo y el aumento de biomasa. Por otro lado, en el experimento 2 con un R^2=0.5955, sugiere una menor correlación y posiblemente una menor eficiencia en la acumulación de biomasa en comparación del primer experimento.

El conteo celular se realizó usando la cámara de Neubauer, permitiendo estimar la concentración de células en cada muestra. En el experimento 1, las concentraciones oscilaron entre $6.45x10^3$ y $1.175x10^4$ células/mL, la muestra del día 5 del experimento 2 la que presentó el mayor número de células. A diferencia del experimento 1, presentó un patrón de crecimiento más variable, con registros ausentes en las muestras 1 y 2, y fluctuaciones más pronunciadas en la densidad celular entre muestras consecutivas.

Discusión

Los fotoperiodos prolongados pueden inducir fotoinhibición, generando un estrés nutritivo que limita la eficiencia fotosintética y como consecuencia una menor producción de biomasa (Cobos Ruiz & Paredes Rodríguez, 2016). La similitud entre los valores obtenidos en ambos experimentos sugiere que las condiciones dentro del biorreactor fueron adecuadas para el crecimiento de las microalgas, permitiendo un crecimiento estable. No obstante, la reducción en los valores respecto a los reportados en la literatura reafirma el impacto del estrés lumínico sobre el desarrollo celular, lo que podría implicar una disminución en la eficiencia del aprovechamiento de los recursos disponibles.

En una etapa de crecimiento temprano, entre uno y cuatro días y medios con una limitación en nutrientes, se espera obtener un crecimiento aproximado de 10^4cél/mL (Martínez de la Cruz et al., 2022), lo cual coincide con los conteos celulares más altos de los experimentos, siendo estos $1.215x10^4$cél/mL y $1.175x10^4$cél/mL. Los resultados indican un posible estrés presente en el medio de cultivo que impidió el desarrollo óptimo de las células. Sin embargo, estas llegaron a presentar el crecimiento esperado en las etapas tempranas del cultivo.

La espectrofotometría es un método utilizado para determinar el crecimiento celular. Se mide a una longitud de onda de 650nm, en algas que presentan un crecimiento adecuado se esperan valores de 0.5 a 0.7 (Prieto Márquez, Inmaculada, 2019). Los resultados obtenidos de densidad óptica van desde 0.05 a 0.10, lo que puede ser atribuido a distintos factores, siendo el que destaca los largos fotoperiodos que pueden causar un daño y estrés en los fotorreceptores del alga, impidiendo así su correcta medición.

Los resultados obtenidos mediante el análisis tricromático muestran una clara influencia del fotoperiodo sobre la producción de clorofila en *Chlorella vulgaris*. En el experimento 1, donde se aplicó un fotoperiodo de 20 horas de luz y 4 de oscuridad, se observó una menor concentración de clorofila en comparación con el experimento 2, en el que estuvo en oscuridad durante 20 horas y la luz por 4 horas. Esta diferencia puede atribuirse a la capacidad de las microalgas para ajustar su metabolismo en respuesta a la disponibilidad lumínica, favoreciendo la síntesis de pigmentos en condiciones de menor exposición a la luz.

Conclusión

A pesar del fotoperiodo extremo de oscuridad del segundo experimento, se obtuvo una mayor biomasa que en el primero. Por otro lado, el conteo celular mostró que, a pesar de estar en condiciones extremas de fotoperiodos, las microalgas lograron desarrollarse en etapas tempranas de cultivo. Esto indica que, aunque fueron afectados por los fotoperiodos, aun así, pudieron desarrollarse dentro de un rango óptimo para las condiciones a las que fueron sometidas. Asimismo, la absorbancia mostrada durante las pruebas reafirma lo observado en el conteo celular ya que, si bien hubo crecimiento, no fue el ideal por la inhibición mencionada con anterioridad a causa de los extremos fotoperiodos de la experimentación. Finalmente, la clorofila producida indica que el experimento 2 muestra una acumulación más estable de la misma que, de acuerdo con estudios anteriores, es acorde a periodos lumínicos largos tal y como se menciona anteriormente.

Referências Bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examinition of Water and Wastewater.** 23. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 2017

Cobos, R, M.; Paredes R. J. D.; 2016. **Induction of Total Lipids Production in Microalgae Under Nutritional Stress**. Scielo.org.co. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-548X2016000100002. Acesso em: 27 de maio de 2025.

Congnita Conecta 2023. **Evaluación del crecimiento de microalgas: Métodos de conteo celular, densidad óptica y concentración de biomasa**. https://cognitaconecta.com/crecimiento-de-microalgas/ Acesso em: 27 de maio de 2025.

Gómez, L.; Toormos, L.; Ortega, Y.; 2022. **Culture and applications of Chlorella vulgaris: main trends and potential on agriculture.** RTQ, Santiago de Cuba. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000100070. Acesso em: 27 de maio de 2025.

González N., Alfaro O., Crespo H., Casañ L. Y Pérez R. 2023. **Modelación cinética del cultivo de Chlorella vulgaris en residuos porcinos: efecto de la irradiación solar.** RTQ, Santiago de Cuba. disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852023000200222. Acesso em: 27 de maio de 2025.

Martínez de la Cruz, M. O., Robles Heredia, J. C., Asteria, N. G., & Anguebes Franseschi, F. 2022, . **Desarrollo celular de Chlorella vulgaris en FBR de columna de burbujeo bajo distintos regímenes de luz.** Google.com. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9493681.pdf&ved=2ahUKEwjJ_Ifv8ouMAxXvJkQIHcUSNSwQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw2gp1_yo0QOUkv-KYZTDlFL

Prieto Márquez, Inmaculada. (2019). **Estudio del crecimiento de la microalga Chlorella vulgares y su capacidad de depuración de agua residual**. Repositorio.ual.es. http://hdl.handle.net/10835/9896.

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO UGRHI 13

1Lívia Mara de Almeida Melo, 2Ana Júlia Pilon Castello, 3Júlia Neves Andrade, 4Edson Augusto Melanda, 5Elza Luli Miyasaka, 6Érico Masiero

1Universidade Federal de São Carlos, e-mail: liviamelo@estudante.ufscar.br; 2Universidade Federal de São Carlos, e-mail: anacastello@estudante.ufscar.br; 3Universidade Federal de São Carlos, e-mail: julianeves@estudante.ufscar.br, 4Universidade Federal de São Carlos, e-mail: melanda@ufscar.br, 5Universidade Federal de São Carlos, e-mail: elza.miyasaka@ufscar.br, 6Universidade Federal de São Carlos, e-mail:erico@ufscar.br

Palavras-chave: Geoprocessamento; CCME WQI; Gestão de Recursos Hídricos.

Resumo Expandido

A urbanização e as dinâmicas de uso do solo têm imposto desafios significativos à gestão dos recursos hídricos em diversas regiões. Uma das regiões abrangidas é a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Tietê (UGRHI 13), no Estado de São Paulo. Dessa forma, este trabalho objetiva avaliar a qualidade das águas superficiais dessa região e sua relação com o uso e a ocupação do solo, e empregar geotecnologias e métodos de análise integrados. A escolha da UGRHI 13 como área de estudo justifica-se pela sua relevância no contexto da gestão integrada de recursos hídricos no estado de São Paulo e representa uma área com características territoriais diversas e complexas, que demanda análises detalhadas para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental, além e da diversidade de situações de uso do solo e pressões ambientais (CBH-TJ, 2025). Na Figura 1, tem-se a localização da área de estudo.

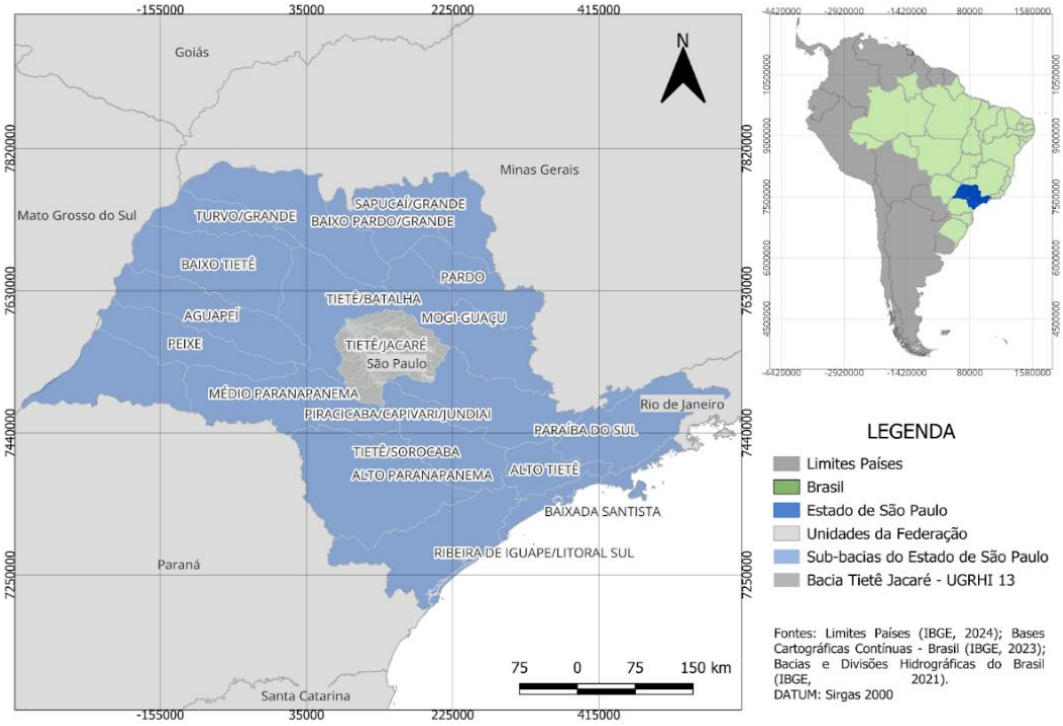


Figura 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Elaborado pelos autores.

As abordagens integradas, que combinam ferramentas de avaliação da qualidade das águas a métodos de análise espacial, auxiliam nas análises em relação a esse tema e permite analisar de forma ampla os fatores que influenciam a qualidade da água nos diferentes contextos territoriais da unidade. Dessa forma, este trabalho adota uma abordagem metodológica mista, que combina procedimentos quantitativos, qualitativos e geoespaciais para análise da qualidade das águas superficiais em interface com o uso do solo. Para isso foi aplicado o índice CCME WQI (*Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality*), e analisado a relação dos resultados com os padrões de uso e ocupação do solo no entorno dos pontos de monitoramento de menor qualidade. Foram utilizados dados físico-químicos e microbiológicos fornecidos pela CETESB, através do sistema InfoÁguas (CETESB, 2024) e coletados em 18 pontos de monitoramento entre 2023 e 2024, afim de comparar as mudanças da qualidade da água entre esses períodos. Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos a partir da plataforma MapBiomas

(Souza et al., 2020). Os dados foram processados no software QGIS, onde foi aplicado os resultados do índice CCME WQI, que combina escopo, frequência e amplitude das falhas em relação aos padrões de qualidade. Além da categorização (QWI), cada ponto também informa, no sistema InfoÁguas (CETESB, 2024), a classe de enquadramento do corpo hídrico (1, 2, 3 ou 4), conforme previsto na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que define os usos preponderantes permitidos para os corpos d'água (ex.: abastecimento público, recreação, irrigação, navegação, preservação da fauna aquática). Na Figura 2, tem-se as etapas dos procedimentos metodológicos seguidos.

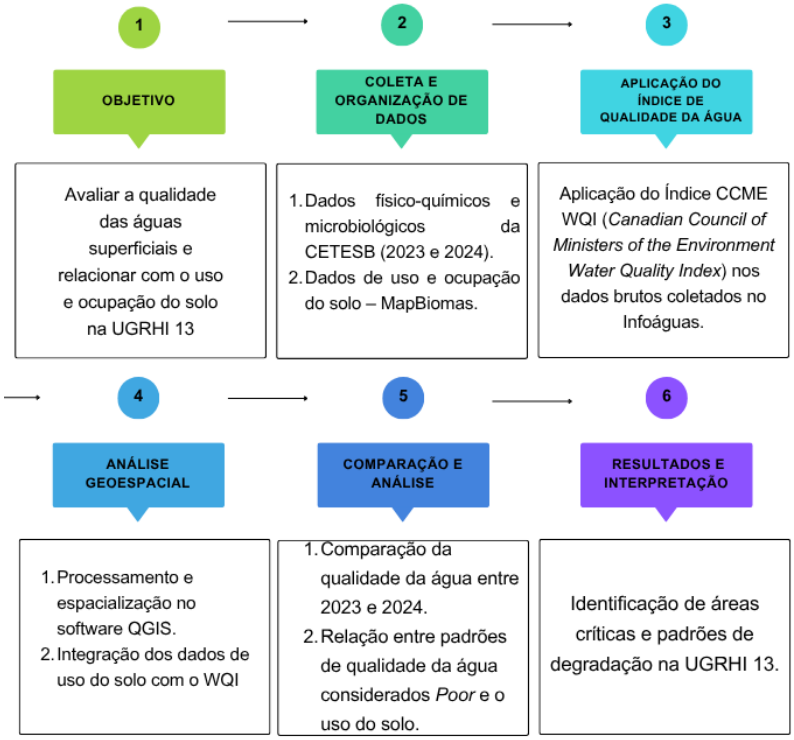


Figura 2: Fluxograma metodológico.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os pontos apresentam diferentes direções de fluxo e estão inseridos em contextos urbanos, rurais e de transição. A análise dos dados foi complementada com ferramentas de geoprocessamento no software QGIS, o que permitiu o cruzamento das informações dos 18 pontos de monitoramento de acordo com o índice CCME WQI, as classes de enquadramento dos corpos hídricos e a caracterização do uso do solo. Neste resumo, destacam-se os pontos classificados como "*Poor*" pelo índice CCME WQI. O ponto JPEP03150 (Rio Jacaré-Pepira, classe 3, Brotas) apresentou índice WQI de 44,8 em 2023 (*Poor*), e evoluiu para 48,7 em 2024 (*Marginal*). O MONJ04400 (Rio Monjolinho, classe 4, São Carlos) permaneceu na categoria *Poor* em ambos os anos, com índices de 38,7 e 32,4. O ponto RGRA02990 (Ribeirão Grande, classe 2, Pederneiras) também manteve a classificação *Poor* nos dois anos, com valores de 34,1 e 34,8. Já o ponto JCGU03200 (Rio Jacaré-Guaçu, classe 3, Ribeirão Bonito) apresentou queda na qualidade, e passou de 57,2 (*Marginal*) em 2023 para 39,7 (*Poor*) em 2024. As áreas de influência desses pontos classificados como *Poor* foram analisadas para identificar os tipos de uso do solo predominantes. Constatou-se a predominância de atividades agropecuárias, como culturas de cana-de-açúcar, soja, citrus, pastagem e outras lavouras, que ocupam 66,9%, 64,1%, 57,5% e 48,3% das áreas de entorno dos corpos hídricos analisados (JCGU03200, JPEP03150, MONJ04400 e RGRA02990, respectivamente).

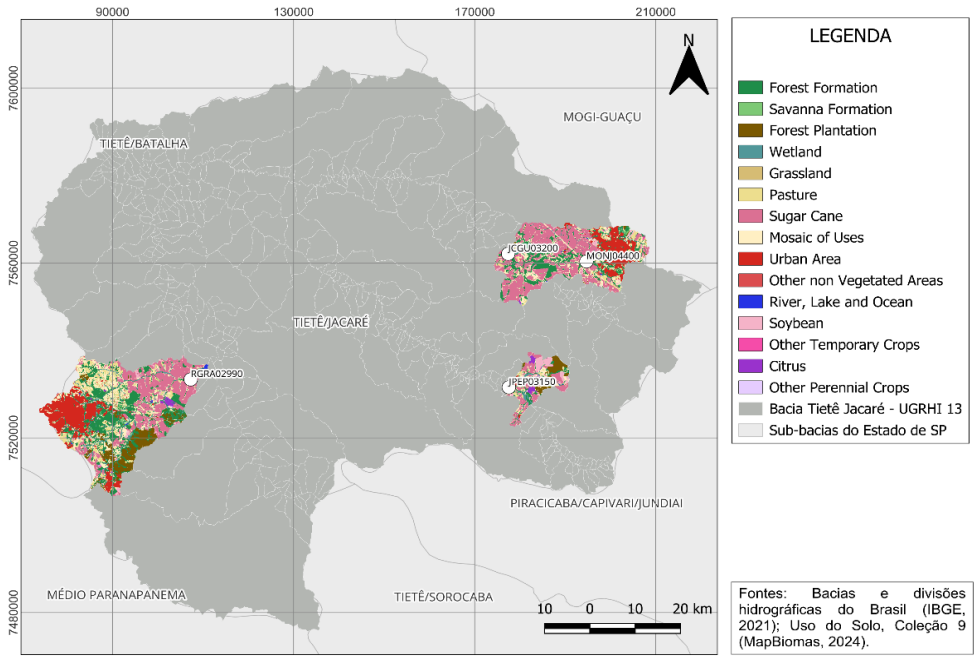


Figura 3: Mapa de uso do solo do entorno dos pontos de monitoramento classificados como *Poor*.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Destaque-se o cultivo de cana-de-açúcar como principal uso do solo, representando 42,1% da área no entorno do Rio Jacaré-Guaçu, 35% no Ribeirão Monjolinho, 26,4% no Rio Jacaré-Pepira e 23,2% no Ribeirão Grande. A presença dominante da agricultura canavieira nessas regiões pode estar associada à aplicação de insumos agrícolas, como fertilizantes e defensivos químicos, que são potencialmente transportados até os corpos d'água por escoamento superficial. Esse processo contribui para o aumento da carga de nutrientes, favorecendo a eutrofização e o comprometimento dos parâmetros de qualidade da água (Schiesari; Corrêa, 2016).

Essa relação entre qualidade da água e uso do solo reforça a importância de estratégias integradas de gestão territorial e o valor do CCME WQI como ferramenta de diagnóstico. O estudo destaca ainda a necessidade de políticas públicas que aliem uso do solo e conservação hídrica, além de ressaltar o papel do monitoramento georreferenciado no apoio à gestão. Para futuras pesquisas, sugere-se integrar séries históricas mais longas e dados de precipitação e escoamento.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

CBH-TJ. *Apresentação.* Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao. Acesso em: 14 maio 2025.

CETESB. *Sistema INFOÁGUAS.* São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 14 maio 2025.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 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. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 53, p. 58–63, 18 mar. 2005.

Schiesari, L.; Corrêa, D. T. Consequences of agroindustrial sugarcane production to freshwater biodiversity. *GCB Bioenergy*, v. 8, n. 3, p. 644–657, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/gcbb.12294.

Souza, C. M., Jr., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. Remote Sensing, v. 12.

AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUA DA LAGOA: APUCARANA, PR

1Gabriella Renata Lourenço, 2Andrea Sartori Jabur, 3Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: gabriella182009@hotmail.com; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: jabur@utfpr.edu.br;3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: kprates@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Urbanização; Drenagem Pluvial; Uso e ocupação do solo.

Resumo

O processo de urbanização modifica profundamente as características naturais das bacias hidrográficas, intensificando a impermeabilização do solo e, consequentemente, alterando o padrão de escoamento superficial. Este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da urbanização na dinâmica hidrológica da bacia do córrego Água da Lagoa, localizada na área central do município de Apucarana (PR). A metodologia adotada compreendeu a caracterização da bacia com uso de imagens de satélite, registros fotográficos com drone, visitas de campo e cálculos hidrológicos. A delimitação da bacia (0,89 km²) foi realizada com auxílio do Google Earth, e os parâmetros necessários foram obtidos para aplicação do método racional, apropriado para pequenas bacias urbanas. Foram determinados o tempo de concentração (14,24 min), a intensidade pluviométrica (154,71 mm/h), o coeficiente de escoamento superficial (0,64) e a vazão máxima (24,5 m³/s). Para avaliar a capacidade atual da infraestrutura de drenagem, utilizou-se o software Canal, considerando as características das galerias circulares existentes com diâmetro de 1 metro, resultando em uma vazão suportada de 13,4 m³/s. Os resultados demonstram que a canalização atual é insuficiente para escoar a vazão gerada em eventos extremos, uma vez que foi projetada com tempo de retorno de 15 anos, típico de galerias pluviais, e não com os 50 a 100 anos usualmente recomendados para canalizações de cursos d'água urbanos. A análise evidencia a necessidade de readequação do sistema de drenagem e adoção de estratégias sustentáveis de manejo das águas pluviais, como parte do planejamento urbano resiliente.

Introdução

O desenvolvimento urbano acelerado promove a concentração populacional em áreas limitadas, intensificando a competição pelo uso dos recursos naturais e gerando impactos negativos expressivos sobre o meio ambiente. Dentre esses impactos, destaca-se a redução da biodiversidade e a modificação do meio físico, especialmente em bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas (Tucci, 2008).

De acordo com a European Environment Agency (EEA, 2016), a urbanização altera significativamente a morfologia e a hidrologia dos cursos d'água. O uso intensivo do solo urbano, aliado à crescente impermeabilização provocada por asfaltamento, pavimentações e edificações, reduz a infiltração da água no solo e força o escoamento superficial a buscar novos percursos, muitas vezes mais rápidos e erosivos. Essas alterações tornam os sistemas hídricos urbanos mais suscetíveis a inundações, assoreamentos e degradação da qualidade da água.

Segundo o USDA (1986), as bacias hidrográficas urbanas apresentam superfícies impermeabilizadas parcial ou totalmente, cobertas por calçadas, ruas, estacionamentos e construções. Esse cenário provoca um desequilíbrio no balanço hidrológico natural, modificando o regime de chuvas e escoamento. Mesquita e Lima Neto (2020) analisaram esse fenômeno em uma bacia urbana de Fortaleza (CE) utilizando modelagem hidrológica e constataram que a impermeabilização do solo eleva significativamente as vazões de pico, intensificando o risco de enchentes e o desgaste das infraestruturas urbanas.

A urbanização intensa frequentemente resulta no aterramento ou canalização de nascentes e cursos d'água, visando atender às demandas de expansão urbana e controle de enchentes. Esse processo, embora funcional a curto prazo, compromete significativamente os serviços ecossistêmicos, como a recarga de aquíferos, a filtragem natural da água e a manutenção da biodiversidade aquática (Carvalho et al, 2020).

No caso do córrego Água da Lagoa, em Apucarana (PR), as nascentes foram totalmente canalizadas e ocultadas sob a infraestrutura urbana, exemplificando uma prática comum em centros urbanos. Estudos indicam que, em algumas cidades, mais de 50% dos cursos d'água foram enterrados ou canalizados, resultando em impactos negativos na qualidade da água e no aumento do risco de inundações. Essas intervenções, ao desconectar os cursos d'água de seus ambientes naturais, reduzem a capacidade de adaptação das cidades às mudanças climáticas e comprometem a resiliência urbana.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo geral estudar os efeitos da urbanização no escoamento superficial da bacia hidrográfica do córrego Água da Lagoa, situado na região central do município de Apucarana – PR.

Material e Métodos

A metodologia adotada neste estudo consistiu, inicialmente, na caracterização das condições hidráulicas da canalização tamponada do córrego Água da Lagoa, com o objetivo de reunir os dados necessários para a análise hidrológica e a avaliação do uso atual do solo na área da bacia hidrográfica.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada utilizando o software Google Earth (Figura 1), resultando em uma área de 0,89 km². Por se tratar de uma bacia com área inferior a 2 km², optou-se pela aplicação do método racional para a estimativa

da vazão máxima de escoamento superficial. Esse método é amplamente utilizado para pequenas bacias urbanas devido à sua simplicidade e eficiência em áreas com alta impermeabilização.

A análise do uso e ocupação do solo foi realizada por meio da interpretação de imagens do Google Earth e do uso de uma aeronave remotamente pilotada (drone), especialmente em trechos de difícil acesso. Além disso, foi utilizado o mapa de macrozoneamento urbano do município de Apucarana (Prefeitura Municipal de Apucarana, 2020) para classificar os tipos de cobertura da superfície. Visitas técnicas e registros fotográficos complementaram o reconhecimento das condições atuais da bacia.

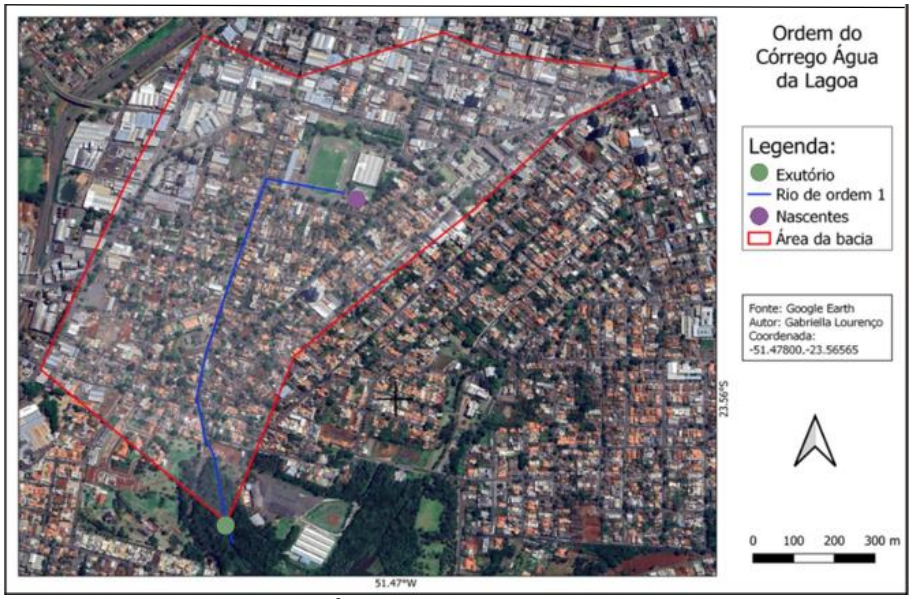


Figura 1: Bacia hidrográfica córrego Água da Lagoa. Fonte: Modificado do Google Earth (2023).

As etapas seguintes consistiram no levantamento e cálculo dos seguintes parâmetros hidrológicos:

- **Tempo de concentração** da bacia, utilizando a equação empírica [1];
- **Intensidade pluviométrica** baseada no tempo de retorno e no tempo de concentração, conforme a equação [2];
- **Coeficiente de escoamento superficial**, obtido a partir das proporções de uso e ocupação do solo [3];
- **Vazão máxima de escoamento**, utilizando a equação do método racional [4].

As fórmulas utilizadas estão listadas a seguir:

$$t_c = 5{,}96\frac{L^{0,6}}{S^{0,3}} \quad (1)$$

$$i = \frac{3092\ T_r{}^{0,18}}{(t_c+26{,}4)^{0,94}} \quad (2)$$

$$C = \frac{\sum A_n . C_n}{\sum A_n} \quad (3)$$

$$Q = 0{,}278 . C . i . A \quad (4)$$

Onde:
t_c = tempo de concentração (min);
L = comprimento do curso d'água principal (m);
S = declividade média do curso d'água (m/m);
i = intensidade da chuva (mm/h);
T_r = tempo de retorno (anos);
C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
A = área da bacia (km²);
Q = vazão máxima (m³/s);
A_n = área de cada tipo de cobertura do solo (m²);
C_n = coeficiente de escoamento correspondente a cada cobertura do solo.

Resultados e Discussão

A bacia hidrográfica do córrego Água da Lagoa (Figura 2) está localizada na região central do município de Apucarana, que se situa no Norte-central do Paraná, entre as latitudes 23°33'24,79" S e longitude 51°28'15,59" O, com altitude média de 866,23 metros. O município possui aproximadamente 130.134 habitantes e uma extensão territorial de 556,990 km² (IBGE, 2022).

O sistema de nascentes que dá origem ao córrego Água da Lagoa está situado abaixo do Complexo Esportivo José Antônio Basso, conhecido como Lagoão. A região foi completamente drenada e canalizada em sistema fechado, abrangendo tanto as nascentes quanto o córrego, que percorre galerias pluviais até a Associação Cultural Esportiva Apucarana (ACEA), desaguando posteriormente na margem norte do Lago Jaboti (Figura 2).



Figura 2: Final da canalização tamponada e ponto de deságue do córrego no Lago Jaboti, local do exutório.

A impermeabilização significativa da superfície — em decorrência de asfaltamento, edificações e ausência de áreas verdes — contribui diretamente para o aumento do escoamento superficial, como evidenciado pelos valores obtidos com o método racional.

Os resultados calculados estão apresentados na Tabela 1. O tempo de concentração foi determinado pela equação de Carter (Eq. 1). Para a determinação da vazão máxima atual, primeiramente foi calculada a intensidade pluviométrica (Eq. 2), considerando um tempo de retorno de 15 anos, pois a canalização foi projetada para galerias pluviais e não para canalizações de rios, que geralmente são dimensionadas para tempos de retorno entre 50 e 100 anos. A canalização existente é composta por duas tubulações circulares, cada uma com 1 metro de diâmetro.

Tabela 1 - Resultados hidrológicos da bacia do córrego Água da Lagoa

	Valor	Unidade
Tempo de Concentração	14,24	min
Intensidade pluviométrica	154,71	mm/h
Coeficiente de escoamento superficial	0,64	---------
Vazão máxima	24,50	m^3/s

Fonte: Elaborado pelos autores

Devido à ausência dos cálculos hidrológicos originais do projeto da canalização, construído na década de 1980, foi realizada uma simulação computacional utilizando o software Canal para estimar a vazão máxima de projeto. Para essa simulação, adotou-se a pior situação possível, considerando um canal circular de seção plena, característica do tipo de canalização empregada no córrego Água da Lagoa.

A profundidade útil (Yn) adotada foi de 0,98 m, ligeiramente inferior ao diâmetro nominal de 1,00 m, para representar a condição real do fluxo. A declividade média da bacia é de 7% (0,07 m/m), e o coeficiente de rugosidade de Manning (n) utilizado foi 0,013, valor típico para galerias de concreto em bom estado e livres de detritos. O diâmetro do canal foi fixado em 1,00 m. A simulação indicou uma vazão máxima de 6,70 m^3/s por canal. Considerando que a canalização é composta por dois canais paralelos, a vazão máxima total suportada é de 13,4 m^3/s.

A vazão máxima atual, calculada em 24,5 m^3/s, é quase o dobro da capacidade da canalização instalada (13,4 m^3/s), revelando um déficit crítico na capacidade hidráulica da estrutura. Essa discrepância indica que a infraestrutura existente, projetada na década de 1980, não foi dimensionada para suportar o aumento da vazão decorrente da urbanização intensiva. O tempo de retorno adotado no projeto (15 anos), adequado a galerias pluviais comuns, torna-se insuficiente quando se considera que a canalização serve a um sistema de drenagem de um curso d'água permanente. Para esse tipo de estrutura, recomenda-se um tempo de retorno entre 50 e 100 anos, conforme boas práticas de engenharia hidráulica urbana (Tucci, 2008).

Considerações finais

A metodologia aplicada e os dados coletados na bacia hidrográfica urbana do córrego Água da Lagoa permitiram concluir que a expansão urbana na região ocasionou significativa impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial. Como resultado, a canalização instalada na década de 1980, com tubos de 1 metro de diâmetro, não é mais adequada para suportar as vazões atuais.

Esse sistema hidráulico foi originalmente projetado como galeria pluvial, considerando um tempo de retorno de apenas 15 anos, padrão indicado para drenagem urbana, e não para a canalização de rios ou córregos, que exigem tempos de retorno entre 50 e 100 anos para garantir maior segurança e eficiência no escoamento.

Além disso, a ausência de dados técnicos sobre o projeto original, como levantado nesta pesquisa, expõe a fragilidade institucional no registro e manutenção de informações de infraestrutura urbana, dificultando diagnósticos precisos e a tomada de decisão. A integração entre planejamento urbano, gestão de recursos hídricos e infraestrutura verde é, portanto, urgente para evitar o colapso de sistemas já sobrecarregados.

Agradecimentos

A secretária de Esporte do Município de Apucarana, por ter cedido material para a pesquisa.

Referências

Carvalho, J. W. L. T. de; Marangon, F. H. S.; Santos, I. dos. 2020. Recuperação de rios urbanos: da interdependência e sincronicidade dos processos de desnaturalização em rios e bacias hidrográficas urbanas. Revista do Departamento de Geografia, v. 40, p. 163-173. Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/article/view/162247 Acesso em março 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Cidade e Estados: Apucarana**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/apucarana.html Acesso em: maio 2025

EEA – European Environment Agency. 2016. Urban adaptation to climate change in Europe 2016 – Transforming cities in a changing climate. EEA Report No 12/2016. Copenhagen. Disponível em^ https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/urban-adaptation-2016 Acesso em agosto 2024.

Mesquita, J. B. F.; Lima Neto, I. E. 2020. Impacto da impermeabilização na hidrologia de uma bacia urbana. In: XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas e III Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, 19–22 out. 2020, Porto Alegre. Anais online. Disponível em : http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55064 Acesso em março 2025.

Prefeitura Municipal de Apucarana**.** Mapa de macrozoneamento urbano do município de Apucarana. Apucarana: PMA, 2020. Disponível em: https://www.apucarana.pr.gov.br Acesso em: maio 2025.

Tucci, C. E. M. 2008. Águas Urbanas. Porto Alegre: UFRGS Editora.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division (1986). Urban Hidrology for Small Watersheds. Technical Release 55. Washington: NRCS. Disponível em: https://www.nrc.gov/docs/ML1421/ML14219A437.pdf Acesso em agosto 2024.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Recursos Hídricos: Qualidade da Água

8º SSS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E TOXICIDADE EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS NA BACIA DO RIBEIRÃO LINDÓIA (LONDRINA/PR)

1Pedro Henrique Vieira de Almeida Araujo, 2Stephanie Luana Urata, 3Maria Eduarda Scarabelot Cortez, 4Thiago Andrade Marques, 5Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: araujo.2001@alunos.utfpr.edu.br; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: stephanieurata@alunos.utfpr.edu.br; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: mariacortez@alunos.utfpr.edu.br; 4Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: thiagomarques@utfpr.edu.br; 5Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: kprates@utfpr.edu.br

Palavras-chave: pressão urbana; indicadores físico-químicos; bioensaios.

Resumo

O aumento desordenado da urbanização faz com que a população se aproxime dos corpos hídricos, o que pode intensificar os impactos sobre a qualidade da água, comprometendo sua integridade ecológica e funcionalidade ambiental. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química e a toxicidade de três corpos hídricos urbanos localizados na Bacia do Ribeirão Lindóia, no município de Londrina (PR), sendo eles P1-ribeirão Lindóia, P2 – ribeirão Quati e P3 – córrego Água das Pedras, durante os períodos de chuva (1ª campanha) e de estiagem (2ª campanha). Foram analisados os parâmetros turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos, além da aplicação de bioensaios de toxicidade com sementes de *Allium cepa*. Os resultados indicaram conformidade com os limites estabelecidos pela legislação vigente para turbidez, pH e sólidos dissolvidos. No entanto, observou-se concentração de oxigênio dissolvido abaixo do limite definido pela legislação no período chuvoso (1ª campanha) e condutividade elétrica acima do limite estabelecido pela CETESB em ambas as coletas, indicando aporte de matéria orgânica nos três corpos hídricos. Os bioensaios apontaram baixa toxicidade geral, com exceção do ponto 3, que apresentou aumento da toxicidade no período de estiagem (2ª campanha), possivelmente em função da presença de esgoto doméstico despejado no córrego e da ocupação irregular de residências em áreas de preservação permanente (APP). Conclui-se, portanto, que houve alteração nos parâmetros físico-químicos e na toxicidade em relação às campanhas analisadas, indicando influência direta da pressão urbana na degradação da qualidade da água, ressaltando a importância do monitoramento contínuo para a preservação deste recurso.

Introdução

A qualidade da água está diretamente relacionada com a saúde pública, a conservação dos ecossistemas e o desenvolvimento econômico sustentável. Com a intensificação das mudanças climáticas, urbanização desordenada e uso dos recursos naturais disponíveis, os corpos hídricos sofrem pressões urbanas crescentes que comprometem a integridade ecológica e a capacidade de atender à todas as demandas necessárias (CARVALHO; ROCHA, 2020).

A principal fonte de degradação dos corpos d'água ocorre devido o lançamento inadequado de efluentes tanto domésticos, quanto industriais (AMÂNCIO, 2018). Além de fatores como o descarte incorreto de resíduos sólidos e a ocupação irregular em áreas de preservação permanente (APP), podendo alterar os parâmetros de qualidade da água.

A partir do controle e monitoramento da qualidade da água é possível identificar os principais fatores de degradação e determinar os usos desse recurso, bem como sua classificação (PINHEIRO, 2019). Desta forma, o ideal é a utilização de parâmetros de origem física, química e biológica para obter uma abordagem integradas para o monitoramento sustentável dos recursos hídricos. A CONAMA 357/2005 estabelece condições em que os corpos hídricos devem ser enquadrados, de acordo com sua classe, onde são considerados parâmetros físico-químicos como: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, dentre outros (CONAMA, 2005). Por outro lado, é importante a utilização de um indicador biológico para o maior entendimento da área analisada, neste estudo, foi utilizado o bioindicador da espécie *Allium cepa (A. cepa)*, que vem sendo bastante utilizada no monitoramento da poluição ambiental devido à sua eficácia, simplicidade metodológica e baixo custo (FISKESJÖ, 1985; FERREIRA; RIBEIRO, 2019; FREITAS; REIS; MAGALHÃES; ROCHA; SILVA, 2023).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade físico-química e a toxicidade de três corpos hídricos urbanos localizados na região de Londrina em duas campanhas, uma no período chuvoso e outra em período de estiagem.

Metodologia

As coletas de água foram realizadas em duas campanhas, a primeira no dia 12 de março de 2024 (período chuvoso) e a segunda no dia 06 de agosto do mesmo ano (período de estiagem).

Os dados de precipitação dos meses em que foram realizadas as coletas, bem como do mês anterior, foram obtidos na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No período chuvoso, correspondente aos meses de fevereiro e março, os totais mensais de precipitação foram de 221 mm e 137 mm, respectivamente. Já no período de estiagem, os meses de julho e agosto apresentaram totais de 76 mm e 40 mm, respectivamente

Para as coletas de água foram selecionados três pontos amostrais localizados na região urbana, todos inseridos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia (BHRL) e classificados segundo a Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, como classe 3. Os pontos amostrais escolhidos foram: Ribeirão Lindóia (denominado P1), o Ribeirão Quati (denominado P2) e o Córrego Água das Pedras (denominado P3). A localização dos pontos selecionados está apresentada na Figura 1.

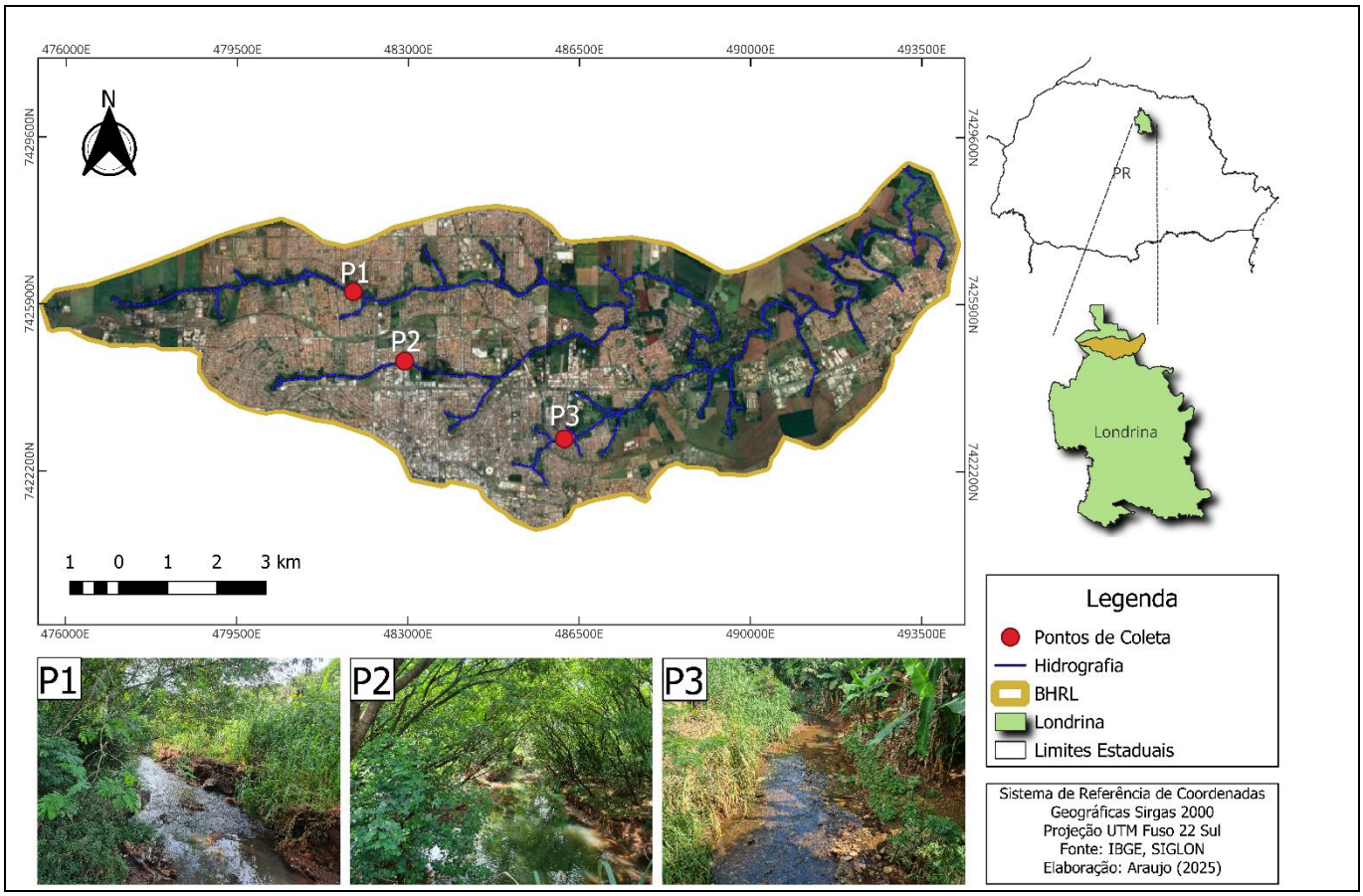


Figura 1: Mapa de localização dos três pontos amostrais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia (BHRL).

As coordenas em GMS (Graus, Minutos, Segundos) dos locais de amostragem, P1, P2 e P3 são, respectivamente, 23°16'25"S 51°10'38"W, 23°17'15"S 51°10'01"W e 23°18'11"S 51°08'06"W.

As amostragens de água foram realizadas seguindo as orientações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011). As amostras foram acondicionadas em frascos de plástico estéreis de 100 mL e transportadas para o laboratório em caixa térmica contendo gelo seco com temperatura abaixo de 6ºC. A coleta em cada ponto foi feita em triplicata. No laboratório as amostras foram submetidas as análises físico-químicas e testes de toxicidade utilizando *A. cepa*, comumente conhecida como cebola, como bioindicador.

Os parâmetros físico-químicos analisados e os respectivos equipamentos utilizados estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros avaliados e equipamentos utilizados nas análises físico-químicas.

PARÂMETRO	EQUIPAMENTO	MODELO
pH	pHmetro	IonLab/PH-500B-I
condutividade elétrica	condutivímetro	TECNOPON/MCA-150
turbidez	turbidímetro	PoliControl/AP2000
Oxigênio Dissolvido / Temperatura / Sólidos Totais Dissolvidos	multiparâmetro	Hanna/HI98194

Fonte: Elaborado pelos autores

Para os testes de toxicidade foram separadas 15 placas de Petri (3 para cada amostra: P1, P2, P3, Controle Positivo (CP) e Controle Negativo (CN)), onde em cada uma delas foi adicionado papel filtro estéril no fundo da placa. Em cada placa de Petri foram colocadas 10 sementes de *A. cepa*. Posteriormente, foi adicionado 2 mL de amostra de água com o auxílio de uma pipeta automática nas respectivas placas, onde paro o CP foi utilizado uma solução de sulfato de cobre ($CuSO_4$) à 0,1 mg/L e para o CN foi utilizado água destilada. Por fim, as placas foram inseridas em incubadora BOD à 25 ºC, com período de incubação de 4 dias para haver a germinação e crescimento das radículas.

Após o período de incubação das sementes de *A. cepa* foram realizadas a contagem das sementes germinadas e a medição das radículas e calculado os índices macroscópicos de toxicidade, conforme a metodologia de Walter, Martínez, Cala (2006) e González *et al.* (2011), como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Índices e equações utilizadas nos testes de toxicidade.

ÍNDICES	EQUAÇÕES
Taxa de germinação das sementes (TG)	$TG\ (\%) = \frac{nº\ de\ sementes\ germinadas\ por\ amostra}{nº\ total\ de\ sementes\ por\ amostra} \times 100$ (1)
Germinação relativa das sementes (GRS)	$GRS\ (\%) = \frac{nº\ de\ sementes\ germinadas\ por\ amostra}{nº\ de\ sementes\ germinadas\ no\ CN} \times 100$ (2)
Índice de crescimento relativo (ICR)	$ICR = \frac{comprimento\ médio\ da\ radícula\ por\ amostra}{comprimento\ médio\ da\ radícula\ no\ CN}$ (3)
Índice de germinação (IG)	$IG\ (\%) = GRS \times ICR$ (4)
Índice de germinação residual normalizado (IGN)	$IGN\ (\%) = \frac{(Germ\ x) - (Germ\ controle)}{Germ\ controle}$ (5)
Índice de alongamento radical residual normalizado (IER)	$IER\ (\%) = \frac{(Along\ x) - (Along\ controle)}{Along\ controle}$ (6)

Fonte: Walter, Martínez, Cala (2006); González et al. (2011). Legenda: CN - controle negativo, *Germ x* - porcentagem média de sementes germinadas em cada amostra, *Germ controle* - porcentagem média de sementes germinadas no controle negativo, *Along x* - comprimento médio da radícula das sementes germinadas em cada amostra, *Along controle* - comprimento médio da radícula das sementes germinadas no controle negativo.

O grau de toxicidade foi determinado a partir do valor encontrado para o índice de germinação residual normalizado (IGN) e para o índice de alongamento radical residual normalizado (IER). Onde as classificações são: hormese (>0), toxicidade baixa (0 a -0,25), toxicidade moderada (-0,25 a -0,5), toxicidade alta (-0,5 a -0,75) e toxicidade muito alta (-0,75 a -1,0) (WALTER, MARTÍNEZ, CALA, 2006; GONZÁLEZ *et al.,* 2011).

Resultados e Discussão

Os resultados das análises físico-químicas estão apresentados na Figura 2.

Para todos os pontos monitorados, os parâmetros físico-químicos de turbidez, pH e sólidos totais dissolvidos apresentaram conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, em ambas as campanhas amostrais.

Os valores de turbidez permaneceram abaixo do limite máximo de 100 NTU; o pH manteve-se dentro da faixa permitida de 6,0 a 9,0; e os sólidos totais dissolvidos não ultrapassaram o limite de 500 mg/L, demonstrando, nesse aspecto, um padrão aceitável de qualidade da água para corpos hídricos de classe 3.

Entretanto, o oxigênio dissolvido apresentou valores inferiores ao limite mínimo recomendado de 4 mg/L durante a 1ª campanha, realizada no período chuvoso. Segundo Lima (2004), o lançamento de matéria orgânica nos corpos hídricos favorece a intensa proliferação de bactérias heterotróficas aeróbias. No processo de decomposição da matéria orgânica, esses microrganismos utilizam o oxigênio dissolvido presente na água para sua respiração, o que pode reduzir sua concentração a níveis muito baixos, comprometendo a vida aquática. Assim, a redução de O.D observada pode ser atribuída ao aporte de carga orgânica associado ao aumento do escoamento superficial urbano durante as chuvas, o que é coerente com o contexto sazonal e urbano da área estudada.

A condutividade elétrica, por sua vez, apresentou valores superiores ao limite de 100 µS/cm, em ambas as campanhas amostrais. Esse parâmetro expressa numericamente a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, sendo diretamente influenciado pela concentração de íons dissolvidos na coluna d'água (CETESB, 2023). Dessa forma, trata-se de uma medida indireta da presença de poluentes de origem orgânica e inorgânica. De acordo com CETESB (2023), valores superiores a 100 µS/cm são indicativos de ambientes potencialmente impactados, especialmente em contextos urbanos.

Nas proximidades dos cursos d'água do P1 e P2 foi observada a disposição de resíduos sólidos urbanos, que pode contribuir para a degradação da qualidade da água (Figura 3 e Figura 4). Esses resíduos são carreados para o leito dos rios pelos sistemas de drenagem urbana e não apenas contribuem para a poluição direta e potenciais efeitos tóxicos sobre os organismos aquáticos, como também provocam impactos físicos, como a obstrução do fluxo hídrico e alteração da vazão, podendo ocasionar erosão e assoreamento, além do aumento da frequência de transbordamentos e inundações em áreas urbanas (PEREIRA,2020).

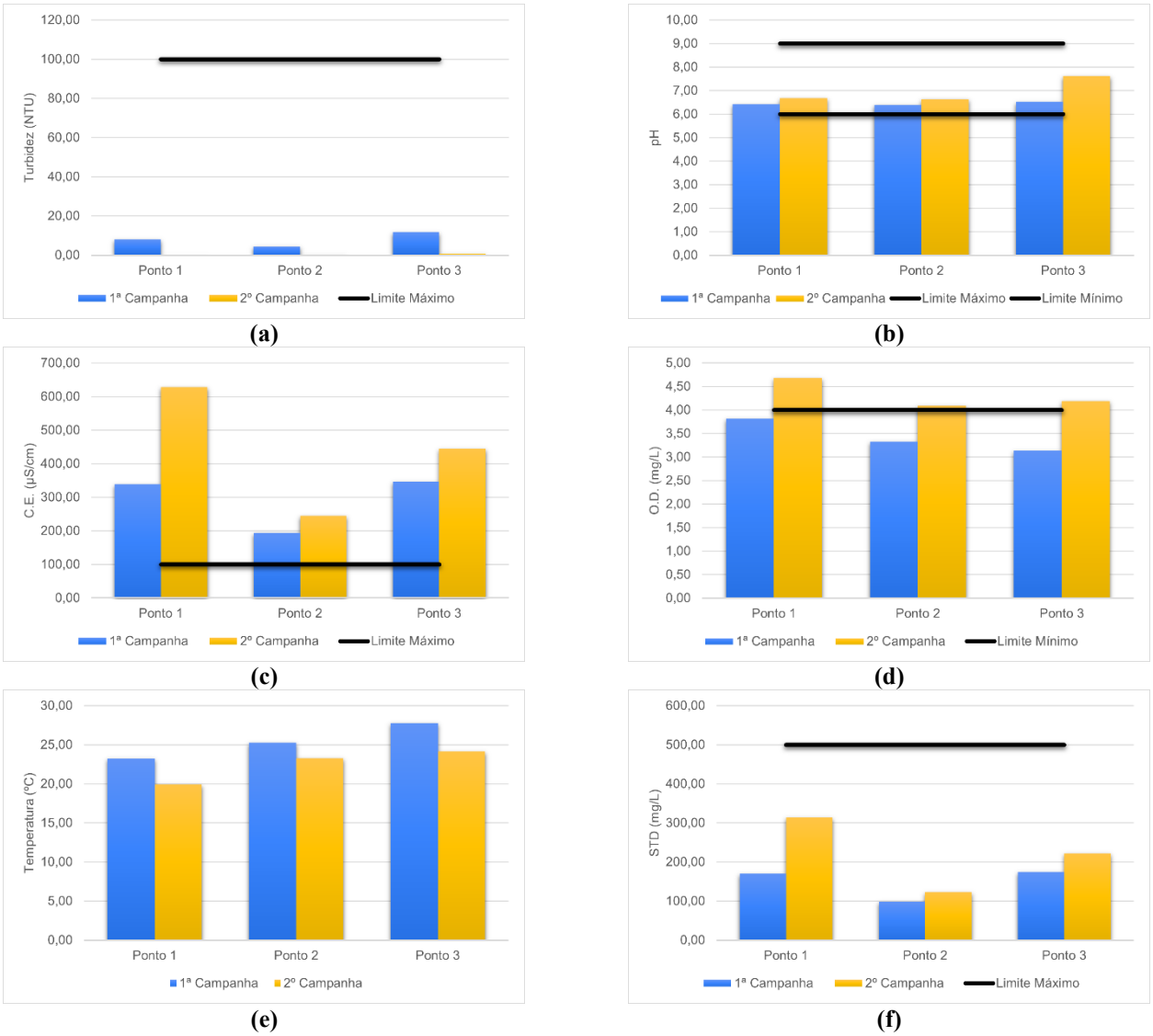


Figura 2: Parâmetros físico-químicos, (a) turbidez, (b) pH, (c) condutividade elétrica, (d) oxigênio dissolvido, (e) temperatura, (f) sólidos totais dissolvidos.



(a) (b)

Figura 3: Proximidades do ribeirão Lindóia (P1), (a) resíduos sólidos descartados de forma irregular nas vias públicas, (b) caminho dos resíduos sólidos até a chegada ao corpo hídrico pelo sistema de drenagem urbana.



(a)



(b)

Figura 4: Descarte irregular de resíduos sólidos no ribeirão Quati (P2), (a) resíduos sólidos nas margens, (b) foco de descarte irregular.

Os resultados dos testes de toxicidade estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices macroscópicos de toxicidade

Pontos	IG (%)		IGN (%)		IER (%)	
	1º Campanha	2º Campanha	1º Campanha	2º Campanha	1º Campanha	2º Campanha
P1	76,47	66,51	0,00	-0,16	-0,24	-0,21
P2	88,24	88,90	0,00	-0,05	-0,12	-0,06
P3	76,47	63,77	0,00	0,00	-0,24	-0,36
CP	2,61	13,39	-0,56	-0,32	-0,94	-0,80
CN	100	100	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores

Nos bioensaios de toxicidade realizados com sementes de *A. cepa*, observou-se que, no P1 e P3, o índice de germinação (IG) foi superior na 1ª campanha, sugerindo menor interferência de contaminantes na fase inicial do desenvolvimento vegetal nesse período. No P2, o IG apresentou variações pouco significativas entre as campanhas, indicando relativa estabilidade nas condições ambientais que influenciam a germinação.

Com relação ao índice de germinação residual normalizado (IGN), todos os pontos avaliados foram classificados com toxicidade baixa nas duas campanhas. Da mesma forma, o índice de alongamento radicular residual normalizado (IER) indicou baixa toxicidade no P1 e P2 em ambas as campanhas. No entanto, o P3 apresentou comportamento distinto: foi classificado com toxicidade baixa durante a 1ª campanha, mas passou a apresentar toxicidade moderada na 2ª campanha, evidenciando alteração da condição ambiental no corpo hídrico. Esse aumento na toxicidade do P3 pode estar relacionado à proximidade de ocupações residenciais irregulares, principalmente em áreas de preservação permanente (APP), o que favorece o lançamento direto de esgoto doméstico no corpo hídrico, conforme pode ser visualizado na Figura 5. Durante a 2ª campanha, a menor vazão hídrica reduz a capacidade de diluição dos poluentes, o que pode resultar em uma maior concentração de compostos tóxicos e, consequentemente, em efeitos mais acentuados sobre organismos bioindicadores (SILVA, 2014).



(a)



(b)

Figura 5: Área de entorno do córrego Água das Pedras, (a) residências em área de APP, (b) tubulação de esgoto doméstico diretamente no córrego.

Conclusão

A análise integrada dos parâmetros físico-químicos e dos bioensaios de toxicidade demonstram que apesar de parte dos indicadores estarem dentro dos limites legais, há indícios de comprometimento ambiental nos três corpos hídricos estudados na Bacia do Ribeirão Lindóia. Por mais que conformes os parâmetros de turbidez, pH e sólidos totais dissolvidos, foram encontrados baixas concentrações de oxigênio dissolvido durante o período chuvoso (1 ª campanha). Somado a isso, os elevados valores de condutividade elétrica em ambas as campanhas apontam a presença de cargas orgânicas e inorgânicas que indicam que os três pontos estudados estão sofrendo com a pressão urbana. Os bioensaios com sementes de *A. cepa* também apresentaram alteração entre as campanhas, como no P3, onde ocorreu o aumento da toxicidade no período de estiagem (2ª campanha), sendo este, dentro os pontos amostrais, o mais impactado.

Dessa forma, os resultados indicam que a pressão urbana tem provocado alterações na qualidade físico-química e na toxicidade da água, contribuindo para a degradação ambiental por meio da ocupação irregular de APP, do descarte inadequado de resíduos sólidos e do lançamento irregular de esgoto doméstico nos corpos d'água. Tais evidências reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e integrado da qualidade da água, com a utilização combinada de parâmetros físico-químicos e bioindicadores.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Araucária e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Londrina pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

Amâncio, D.; Coelho, G.; 2018. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. *Scientia Agraria*, v. 19, n. 1, pp. 75-86.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; 2011. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 326 p.

Brasil; 2005. Resolução CONAMA nº 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. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF, pp. 11-13.

Carvalho, A.; Rocha, G.; 2020. Análise dos riscos e da vulnerabilidade socioambiental urbana, face ao desenvolvimento desordenado e a pressão aos recursos hídricos em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 2023. Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. *Apêndice C*.

Ferreira, F.; Ribeiro, F.; Silva, F.; Narciso, L.; Bulhões, L.; Lima, C.;2019. Utilização de *Allium cepa* como bioindicador na avaliação de citotoxicidade do solo e da água em um ponto de descarte inadequado de resíduos sólidos no distrito de Nova Almeida, Serra-ES. Rev. esfera acadêmica tecnologia, v. 4, n. 1.

Freitas, L.; Reis, H.; Magalhães, S.; Rocha, C.; Silva F.; 2023. Ecotoxicidade da água do canal Água Cristal (Marambaia, Belém, Pará, Brasil): utilizando o sistema teste Allium cepa como bioindicador.

Fiskesjö,, G; 1985. The Allium test as a standard in environmental monitoring. Hereditas, 102: 99-112

González, M. G. B. et al.; 2011. Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments*, v. 11, n. 2, pp. 281-289

Lima, C.; 2004. Estudo comparativo das características físicas e químicas e da qualidade sanitária de dois ambientes lacustres costeiros do município de Paraipaba-CE, nordeste do Brasil (lagoas das Almécegas e Canabrava). *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará*, Fortaleza, 110 f.

Pereira, C.; Rodrigues, M.; 2020. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. *Nature and Conservation*, v. 13, n. 2, pp. 58-66.

Pinheiro, J.; Ribeiro, L.; 2019. Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas, pp. 89-109.

Silva, C.; Oliveira, L.; 2014. Variação temporal e espacial da qualidade da água em rios urbanos. *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16., Lisboa. *Anais*, pp. 1-10.

Walter, I.; Martínez, F.; Cala, V.; 2006. Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. *Environmental Pollution*, v. 139, pp. 507-514.

O IMPACTO DOS PESTICIDAS E POLUENTES EMERGENTES EM MATRIZES AMBIENTAIS E ALTERNATIVAS DE REMOÇÃO BASEADAS EM NANOTECNOLOGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

1Diane Scapin , 2Maira Vieira Duarte, 3Cintia Jaqueline Ramos, 4Thalita Grando Rauen

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental – Campus Francisco Beltrão. Francisco Beltrão – Paraná – Brasil, e-mail: dscapin@casan.com.br; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental – Campus Francisco Beltrão. Francisco Beltrão – Paraná – Brasil, e-mail: mairavduarte@gmail.com; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental –Campus Francisco Beltrão. Francisco Beltrão – Paraná – Brasil, e-mail: cintiaramos2016@gmail.com; 4 Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental – Campus Francisco Beltrão. Francisco Beltrão – Paraná – Brasil, e-mail: tgrauen@utfpr.edu.br.

Palavras-chave: Pesticidas; nanopartículas; tecnologias.

Resumo

O aumento das demandas de consumo e o uso intensivo de pesticidas na agricultura têm provocado sérios impactos ambientais, comprometendo ecossistemas aquáticos e terrestres. Esses compostos, juntamente com outros contaminantes emergentes (CECs), apresentam elevada persistência no ambiente e oferecem riscos significativos à saúde humana e ecológica, mesmo quando presentes em baixas concentrações. Nesse contexto, a nanotecnologia, especialmente por meio do emprego de nanopartículas, surge como uma alternativa promissora para a detecção e remediação desses poluentes. Este artigo tem como objetivo discutir a problemática crescente da contaminação ambiental por pesticidas e micropoluentes, com ênfase na aplicação de nanotecnologias para seu monitoramento e mitigação. A revisão examina os impactos desses contaminantes em diferentes matrizes ambientais, com destaque para solos e recursos hídricos, e apresenta as principais vantagens e limitações associadas ao uso de nanopartículas na remediação. A pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio 2.0*, resultando na seleção de 36 artigos científicos. Os achados evidenciam o protagonismo crescente das tecnologias emergentes no enfrentamento da poluição ambiental, destacando fontes como pesticidas, fármacos, metais pesados e microplásticos. A análise bibliométrica identificou 2021 como o ano com maior produção científica, refletindo o avanço da nanotecnologia no setor. Apesar dos progressos, persistem desafios quanto à viabilidade econômica e à aplicação em larga escala. Por fim, os impactos ecotoxicológicos dos CECs reforçam a urgência de ações integradas de monitoramento ambiental, essenciais à conservação dos ecossistemas e à promoção da saúde pública.

Introdução

O uso intensivo de pesticidas na agricultura tem contribuído significativamente para a degradação ambiental, afetando solos e corpos d'água e comprometendo organismos aquáticos e terrestres (GIUDICE et al., 2021; MISHRA et al., 2023). Mesmo em concentrações subletais, esses compostos provocam efeitos ecotoxicológicos em espécies não-alvo e podem se acumular na cadeia alimentar. Além dos pesticidas, outros poluentes como efluentes industriais, metais e resíduos perigosos também têm sido amplamente detectados em ecossistemas aquáticos (MISHRA et al., 2023).

Nos últimos anos, os Contaminantes de Preocupação Emergente (CECs), incluindo hormônios, fármacos e compostos industriais persistentes têm despertado atenção crescente devido à ausência de regulamentação específica e à escassez de dados sobre seus impactos ambientais (ZULKIFLI et al., 2018; BILAL et al., 2019; REBELO et al., 2021).

Neste contexto, a nanotecnologia surge como alternativa promissora para remediação ambiental. Nanomateriais como óxido de titânio (TiO_2) e nanopartículas metálicas demonstram alta eficiência na detecção, adsorção e degradação de micropoluentes, devido à grande área superficial e seletividade (NARWAL et al., 2023; KUMAR et al., 2023). Processos como fotocatálise, oxidação avançada (Fenton e Foto-Fenton) e biorremediação têm mostrado bons resultados na descontaminação de águas residuais (SAYAN et al., 2013; OTURAN e AARON, 2014; JIANG et al., 2023; KHAN et al., 2023).

Este artigo propõe uma revisão sobre o uso de nanopartículas na remediação de solos e águas contaminadas por pesticidas, discutindo avanços, limitações e perspectivas futuras.

Metodologia

A pesquisa utilizou a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com a metodologia Methodi Ordinatio 2.0, desenvolvida por Pagani et al., (2022). Esse método classifica artigos científicos com base em três variáveis: ano de publicação (PubYear), número de citações (Ci) e fator de impacto da revista (IF), ponderadas pelos fatores λ, Ω e Δ.

Seguindo nove etapas, a pesquisa começou com buscas exploratórias em Scopus, Web of Science e Science Direct, utilizando palavras-chave relevantes para a temática. Foram selecionados 117 artigos publicados entre 2020 e 2024, Após a filtragem para remover duplicatas e artigos irrelevantes, 36 artigos compuseram o portfólio final.

A classificação foi feita com a planilha RankIn 2.0, que automatiza a coleta das variáveis. Foram adotados os pesos $\lambda = 10$, $\Omega = 10$ e $\Delta = 3$, priorizando estudos recentes e amplamente citados. Após a ordenação, iniciou-se a análise sistemática dos artigos selecionados.

Resultados e Discussão

Nas últimas décadas, houve um aumento significativo nas publicações sobre poluentes emergentes e tecnologias de remediação ambiental. A Figura 1 apresenta os periódicos com maior número de estudos sobre o tema, evidenciando o crescente interesse em soluções para controlar ou remover pesticidas, fármacos, metais pesados e microplásticos.

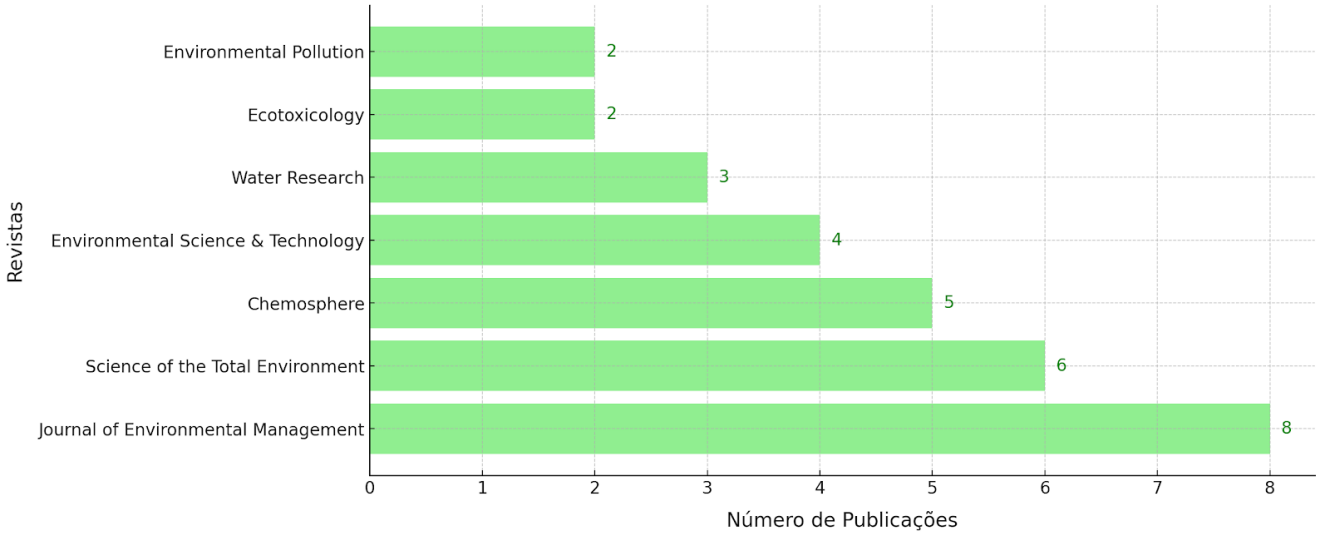


Figura 1 – Periódicos com maiores números de publicações
Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 1 sintetiza os principais temas recorrentes nos artigos analisados, com destaque para nanotecnologia, remediação ambiental, pesticidas e poluentes emergentes, refletindo as principais tendências da pesquisa na área.

Tabela 1 – Principais temas abordados nos artigos

Tema	Frequência
Nanotecnologia	15
Remediação	14
Pesticidas	12
Nanopartículas	13
Fotocatálise	10
Poluentes emergentes	11
Fármacos	10
Microplásticos	9
Adsorção	8
Oxidação Avançada	10

Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 2 apresenta a distribuição anual das publicações, com destaque para o pico em 2021, refletindo o aumento do interesse por tecnologias de remediação ambiental.

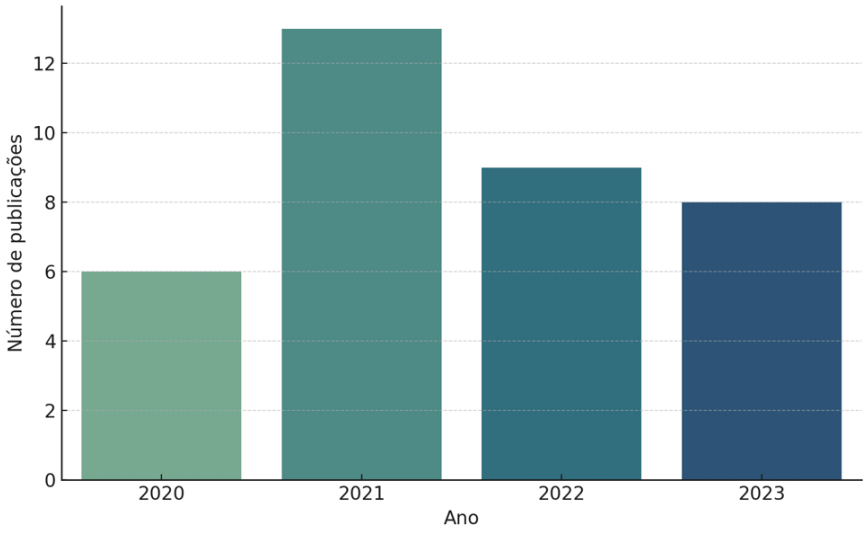


Figura 2 – Distribuição de publicações por ano
Fonte: Elaborado pelos autores

A análise bibliométrica dos 36 artigos selecionados evidenciou tendências marcantes na literatura recente sobre tecnologias de remediação aplicadas aos poluentes emergentes. A Figura 2 apresenta a distribuição anual das publicações entre 2020 e 2023, com destaque para o ano de 2021, que concentrou o maior número de estudos. Esse pico reflete o avanço das pesquisas em nanotecnologia e o aumento da conscientização global sobre os impactos ambientais causados por pesticidas, fármacos e microplásticos (REBELO et al., 2021; MISHRA et al., 2023).

A Tabela 1 sintetiza os principais temas abordados nos artigos, revelando a centralidade da nanotecnologia e da remediação ambiental. A aplicação de nanopartículas, especialmente óxidos metálicos como o TiO_2, associada a processos como fotocatálise e oxidação avançada (Fenton e Foto-Fenton), demonstrou alta eficiência na degradação de compostos como paraquat e glifosato, com taxas superiores a 80% em condições laboratoriais (SAYAN et al., 2013; OTURAN e AARON, 2014; KUMAR et al., 2023).

Além dos pesticidas, os estudos revisados abordaram frequentemente a presença de fármacos e produtos de cuidados pessoais em efluentes urbanos e hospitalares, destacando compostos como a ciprofloxacina, que apresentam elevado potencial de bioacumulação e toxicidade em organismos aquáticos (AHMED et al., 2023; BISARIA et al., 2021). Microplásticos e metais pesados também foram associados a alterações fisiológicas e reprodutivas na fauna aquática, com impactos que se estendem à cadeia alimentar e à saúde humana.

Entre as soluções tecnológicas emergentes, destacam-se os materiais adsorventes, como estruturas metal-orgânicas (MOFs) e compostos à base de carbono funcionalizado, que vêm sendo testados pela sua seletividade na remoção de micropoluentes (RASHEED et al., 2020; LETSOALO et al., 2023). Os Processos de Oxidação Avançada (POAs), por sua vez, apresentaram taxas de remoção superiores a 90% para compostos recalcitrantes, incluindo fármacos e resíduos industriais.

Apesar dos avanços, a maioria dos estudos aponta desafios relevantes à aplicação dessas tecnologias em larga escala, especialmente quanto à estabilidade dos materiais, viabilidade econômica e desempenho em sistemas reais com misturas complexas de contaminantes (ORE et al., 2023; FRANCO et al., 2022). Adicionalmente, a literatura destaca a limitação dos métodos convencionais de tratamento de água em contextos de alta carga de poluentes, sobretudo em áreas agrícolas.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de integrar ciência, engenharia e políticas públicas. A superação das barreiras técnicas e econômicas requer investimentos em infraestrutura, incentivo à inovação e monitoramento ambiental contínuo, visando à implementação eficaz e sustentável dessas tecnologias (BILAL et al., 2019; ZULKIFLI et al., 2018).

Considerações Finais

A análise realizada evidencia a consolidação da nanotecnologia e dos processos de oxidação avançada como frentes promissoras na remediação de poluentes emergentes. Ainda que essas tecnologias apresentem elevada eficácia em ambiente controlado, sua adoção em larga escala exige superação de barreiras técnicas e econômicas. A persistência dos poluentes e seus efeitos ecotoxicológicos reforçam a necessidade de investimentos em pesquisa aplicada, regulamentação específica e estratégias integradas de monitoramento ambiental, com vistas à proteção dos ecossistemas e à promoção da saúde pública.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) pelo suporte institucional e acadêmico concedido à realização deste estudo.

Referências

AGRAWAL, S., *et al*. Plant development and crop protection using phytonanotechnology: A new window for sustainable agriculture. **Chemosphere,** v. 299, 2022. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134465.

AHMAR, S., *et al*. Advantage of Nanotechnology-Based Genome Editing System and Its Application in Crop Improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.663849.

AHMAD, A., *et al*. Recent trends and challenges with the synthesis of membranes: Industrial opportunities towards environmental remediation. **Chemosphere,** v.*306*, 2022. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135634.

AHMED, A. S. S. *et al*. Microplastics in aquatic environments: A comprehensive review of toxicity, removal, and remediation strategies. **Science of the Total Environment,** v. 876, 2023. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162414.

AJALA, O. J., *et al*. A review of emerging micro-pollutants in hospital wastewater: Environmental fate and remediation options. **Results in Engineering**, v. 16, 2022. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100671.

BILAL, M. *et al*. Emerging contaminants of high concern and their enzyme-assisted biodegradation – A review. **Environment International,** v. 124, p. 336-353,2019, https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.011.

BISARIA, K., *et al*. Recent advances in structural modifications of photo-catalysts for organic pollutants degradation – A comprehensive review. **Chemosphere**, v. 284, 2021. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131263.

BOREGOWDA, N., *et al*. Recent advances in nanoremediation: Carving sustainable solution to clean-up polluted agriculture soils. **Environmental Pollution**, v. 297, 2022. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118728.

FRANCO, D. S. P. *et al.* 2022. Advances made in removing paraquat herbicide by adsorption technology: A review. **Journal of Water Process Engineering,** v. 49, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102988.

GIUDICE, L.C. *et al.* Climate change, women's health, and the role of obstetricians and gynecologists in leadership. **Int. J. Gynecol. Obstet.** v. 155, p. 345–356, 2021.

GRILLO, R., *et al.* Ecotoxicological and regulatory aspects of environmental sustainability of nanopesticides. **Journal of Hazardous Materials,** v. 404, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124148.

GUPTA, P., & VERNNA, N. Evaluation of degradation and mineralization of glyphosate pollutant in wastewater using catalytic wet air oxidation over Fe-dispersed carbon nanofibrous beads. **Chemical Engineering Journal**, v. 417, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128029.

JIANG, T. *et al*. Degradation of organic pollutants from water by biochar-assisted advanced oxidation processes: mechanisms and applications. **J. Hazard. Mater.** 442, 2023, 130075.

KHAN, Z. U. H. *et al.* Removal of organic pollutants through hydroxyl radical-based advanced oxidation processes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 267. Academic Press. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115564.

KUMAR, S. *et al*. Recent advancements in nanotechnology for treat pharmaceutical wastewater: sources, toxicity, and remediation technology. **Curr. Pollut. Rep.** p. 1–33, 2023. https://doi.org/10.1007/s40726-023-00251-0.

LEI, C., *et al*. Iron-crosslinked alginate derived Fe/C composites for atrazine removal from water**. Science of the Total Environment,** v. 756, 2021. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143866.

LETSOALO, M. R., *et al*. Efficient detection and treatment of pharmaceutical contaminants to produce clean water for better health and environmental. **Journal of Cleaner Production,** v. 387, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135798.

LITTI, L., *et al*. 3D Printed Microfluidic Device for Magnetic Trapping and SERS Quantitative Evaluation of Environmental and Biomedical Analytes. **ACS Applied Materials and Interfaces,** v. 13, n. 29, p. 34752–34761, 2021. https://doi.org/10.1021/acsami.1c09771.

LU, T., *et al*. Pollutant toxicology with respect to microalgae and cyanobacteria. **Journal of Environmental Sciences**, v. 99, p. 175–186, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.06.033.

MISHRA, R. K. *et al.* Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research. **Water-Energy Nexus**, v. *6*, p. 74–95, 2023. https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.08.002.

MITTAL, D. *et al*. Nanoparticle-Based Sustainable Agriculture and Food Science: Recent Advances and Future Outlook. **Frontiers in Nanotechnology**, v. 2, 2020. https://doi.org/10.3389/fnano.2020.579954.

MUDHOO, A. *et al*. An analysis of the versatility and effectiveness of composts for sequestering heavy metal ions, dyes and xenobiotics from soils and aqueous milieus. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 197, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110587.

NARWAL, N. *et al*. Emerging micropollutants in aquatic ecosystems and nanotechnology-based removal alternatives: A review. **Chemosphere**, v. *341*, 2023. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139945.

NEME, K., *et al*. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. **Heliyon**, v. 7, n. 12, 2021. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539.

NURE, J. F., & NKAMBULE, T. T. I. The recent advances in adsorption and membrane separation and their hybrid technologies for micropollutants removal from wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 126, p. 92–114, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.06.034.

ORE, O. T., *et al*. Organophosphate pesticide residues in environmental and biological matrices: Occurrence, distribution and potential remedial approaches. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology,** v.5, p. 9–23, 2023. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2022.10.004.

OTURAN, M.A.; AARON, J. J. Technology, advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. A review. **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol**. v. 44, p. 2577–2641, 2014.

PAGANI, R. N. *et al.* Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting Finder and Rankin. **Quality and Quantity**, v. 57, p. 1–40, 2022. https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-022-01562-y.

PARRA-ARROYO, L., *et al.* Highly hazardous pesticides and related pollutants: Toxicological, regulatory, and analytical aspects. **Science of the Total Environment,** v. 807, 2022. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151879.

POUZARD, A., *et al*. Efficient visible light-induced photocatalytic removal of paraquat using N-doped TiO2@SiO2@Fe3O4 nanocomposite. **Journal of Molecular Liquids,** v. 299. 2020. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112167.

QI, Z., *et al*. A photoelectrochemical aptasensor based on CoN/g-C3N4 donor-acceptor configuration for sensitive detection of atrazine. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 387, 2023. https://doi.org/10.1016/j.snb.2023.133792.

RASHEED, T. *et al.* Environmental threatening concern and efficient removal of pharmaceutically active compounds using metal-organic frameworks as adsorbents. **Environmental Research**, v. 185, 2020. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109436.

REBELO, P. *et al*. Molecularly imprinted polymer-based electrochemical sensors for environmental analysis. **Biosensors and Bioelectronics,** v. 172, 2021, 112719, 2021. https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112719.

SAYAN, B., *et al*. Role of nanotechnology in water treatment and purification: potential applications and implications**. Int. J. Chem. Sci. Technol**. 3, 59, 2013.

SINGH, R. P., HANDA, R., & MANCHANDA, G. (2021). Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. **Journal of Controlled Release,** v. 329, p. 1234–1248, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.051.

SU, Y., *et al*. Zr-MOF modified cotton fiber for pipette tip solid-phase extraction of four phenoxy herbicides in complex samples. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 201, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110764.

TORRES, N. H., *et al*. Environmental aspects of hormones estriol, 17β-estradiol and 17α-ethinylestradiol: Electrochemical processes as next-generation technologies for their removal in water matrices. **Chemosphere,** v. 267, 2021. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128888.

YANG, H., *et al*. Distribution, sources, migration, influence and analytical methods of microplastics in soil ecosystems. **Ecotoxicology and Environmental Safety,** v. 243, 2022. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114009.

YOUNIS, S. A., *et al*. Advancements of nanotechnologies in crop promotion and soil fertility: Benefits, life cycle assessment, and legislation policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.152, 2021. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111686.

ZHANG, L. J., *et al*. Ecological and toxicological assessments of anthropogenic contaminants based on environmental metabolomics. **Environmental Science and Ecotechnology**, v. 5, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ese.2021.100081.

ZHOU, P., *et al*. Construction of a metallic silver nanoparticle-decorated bismuth oxybromide-based composite material as a readily recyclable photocatalyst. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119007.

ZULKIFLI, S. N.; RAHIM, H. A.; LAU, W. J. Detection of contaminants in water supply: A review on state-of-the-art monitoring technologies and their applications. **Sensors and Actuators B: Chemical,** v. 255, n. 3, p. 2657-2689, 2018.

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILME DE MUCILAGEM DE CHIA EM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA

1Renata Machado Pereira Da Silva, 2Stefanny Pereira Atanes, 3Sibele Santos Fernandes

1Universidade Federal do Rio Grande, e-mail: renatapereiraps@hotmail.com; 2Universidade Federal do Rio Grande, e-mail: stefannypereiraatanes@gmail.com; 3Universidade Federal do Rio Grande, e-mail: sibele.fernandes@furg.br

Palavras-chave: *Salvia hispânica*; solubilidade; sustentabilidade.

Resumo

A crescente preocupação ambiental com o acúmulo de resíduos plásticos tem impulsionado o desenvolvimento de materiais alternativos, como os filmes biodegradáveis à base de mucilagem de chia (*Salvia hispânica* L). Este estudo investigou a biodegradabilidade desses filmes em diferentes tipos de água (salgada, salobra, doce, destilada, deionizada e Milli-Q), sob temperatura controlada de 25 °C, avaliando parâmetros físico-químicos como pH, turbidez, salinidade e cor. Os resultados demonstraram que os filmes apresentaram rápida solubilização em águas purificadas, enquanto em meios doces, salinos e salobros a degradação foi mais lenta, ocorrendo formação de agregados e decantação. A alteração nos parâmetros físico-químicos indicou a liberação de compostos da mucilagem no meio aquoso. Esses achados sugerem que os filmes de chia têm alto potencial de aplicação como embalagens biodegradáveis em contextos de descarte controlado, embora apresentem limitações em ambientes com alta salinidade. Estudos futuros devem buscar adaptações na formulação para ampliar sua aplicabilidade ambiental.

Introdução

As embalagens plásticas são de grande importância para a sociedade atual, visto que são amplamente utilizadas para armazenar os mais diversos produtos, especialmente alimentos. Sua leveza, resistência, versatilidade e baixo custo de produção, tornaram o plástico um dos materiais preferidos da indústria alimentícia. No entanto, o descarte inadequado e o longo tempo de decomposição, que pode ultrapassar 400 anos, têm gerado sérias preocupações ambientais. A exemplo disso, cabe citar que segundo a ABRIPLAST (2023), somente no ano de 2023, o Brasil produziu aproximadamente 7,04 milhões de toneladas de plástico por ano, dos quais apenas 25,6% são reciclados ou reaproveitados.

Diante desse cenário, tem se estudado o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis, com foco em materiais biodegradáveis que possam substituir o plástico convencional sem comprometer a qualidade e a segurança dos alimentos. Essas alternativas buscam uma maior sustentabilidade e a diminuição da problemática ambiental, principalmente após a criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Organização das Nações Unidas (Grisales, 2024). Dentre as matérias-primas que são utilizadas como biopolímeros, tem-se a chia (*Salvia hispânica L*), que é uma semente de forma oval e pequena que quando hidratada libera um gel transparente chamado de mucilagem. A mucilagem é rica em polissacarídeos que se encontram nas suas células externas e formam o revestimento da semente, recendo o nome de células mucilaginosas (Ximenes, 2022; Fernandes, 2023).

Devido a essas características a mucilagem podem ser utilizadas em diversas aplicações como, por exemplo, quelante e formadora de gel, substituto de gordura e como matéria-prima para filmes, apesar de ser muito solúvel esse aspecto pode se tornar uma vantagem, quanto a biodegradabilidade e sustentabilidade das embalagens desenvolvidas a partir dela (Fernandes et al., 2017). Desse modo, o uso da mucilagem de chia como fonte de biopolímero representa uma medida inovadora e alinhada com a sustentabilidade, além de agregar valor à matéria prima e oferecer novas perspectivas para a criação de embalagens funcionais.

Para avaliar a degradação dos filmes, foram selecionados os parâmetros físico-químicos pH, turbidez, salinidade e cor por se tratarem de indicadores indiretos, uma vez que refletem as alterações no meio aquoso provocadas pela degradação do material. A turbidez pode indicar a dispersão de partículas coloidais resultantes da fragmentação do filme; a variação de cor pode estar associada à liberação de compostos orgânicos provenientes da mucilagem; o pH pode sofrer alterações devido à presença de substâncias ácidas ou básicas liberadas durante o processo de degradação; e a salinidade está relacionada à liberação de íons oriundos da composição do material. Embora existam metodologias diretas para avaliação da biodegradabilidade, como a análise de carbono orgânico dissolvido (COD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a escolha desses parâmetros se justificou pela praticidade, pelo curto tempo de análise e pela capacidade de fornecer uma estimativa preliminar do comportamento dos filmes em diferentes ambientes aquáticos.

Nesse sentido, se torna interessante estudar o tempo de degradação dessas embalagens em diferentes meios aquosos (cenários ambientais reais e águas purificadas), com intuito de averiguar sua biodegradabilidade e o impacto causado no meio. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a biodegradabilidade de filmes de mucilagem de chia em diferentes tipos de água sob temperatura controlada (25 ºC) com foco em parâmetros físico-químicos e implicações ambientais.

Materiais e Métodos

Preparação dos filmes

Os filmes foram produzidos por meio da técnica de *casting* de acordo com Fernandes et al. (2020). Estes foram produzidos com 1% de mucilagem de chia seca em estufa, seguido de homogeneização por 40 min. Após, o pH foi ajustado para 9 e adicionou-se glicerol em uma proporção de 1:3 (mucilagem de chia: glicerol).

A solução filmogênica obtida foi aquecida a 80 °C e homogeneizada por mais 30 min. Posteriormente, foi vertida em placas de Petri, formando uma camada uniforme. A secagem foi realizada em estufa a 45 °C, resultando em filmes translúcidos, flexíveis e de espessura homogênea.

Após a secagem, os filmes foram cuidadosamente destacados das placas e recortados em porções padronizadas de 1 cm², que foram utilizadas nos testes de biodegradabilidade em diferentes tipos de água. A Figura 1 apresenta a aparência final dos filmes recortados, prontos para os ensaios.

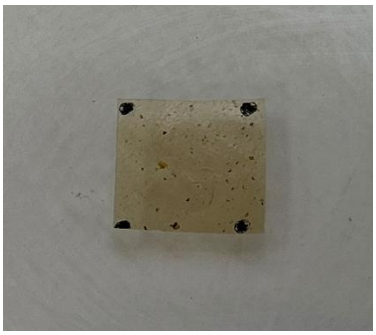


Figura 1: Filme de mucilagem de chia recortado em porções de 1 cm² utilizados nos ensaios de biodegradação.

Experimento de solubilização

Os filmes foram submetidos à análise de solubilidade em seis tipos de água: doce, salobra, salgada, destilada, deionizada e Milli-Q, conforme método proposto por Gontard *et al.* (1994), com modificações. Para isso, cada filme foi imerso em 50 mL de água a 25 °C e agitado a 175 rpm até completa solubilização. O tempo necessário para a solubilização total foi registrado, e as amostras de água foram caracterizadas antes e após o experimento.

Caracterização das soluções

A turbidez foi obtida por meio de turbidímetro portátil (Akso, AK410). A cor foi avaliada através de fotômetro (Hanna, HI83399-02) e o pH através de pHmetro (Instrutherm, PH-2600). A análise de condutividade elétrica ($\sigma, mS/cm$)foi obtida por meio de um condutômetro digital (Hanna, EC 2015) para a determinação da salinidade, a qual foi obtida através da equação (1).

$$Salinidade\ (\frac{g}{L} ou ‰) = (\sigma^{1,0878})(0{,}4665)\ (1)$$

Onde: ‰ é $Salinidade$ (g/L ou ‰) e σ é condutividade *(mS/cm)*.

Análise estatística

Os resultados foram tratados por análise de variância (ANOVA) e teste de t-Student e Tukey, usando o software *Statistica* 5.0 (Statsoft, EUA). A análise estatística foi realizada considerando um nível de 95% de confiança ($p<0{,}05$).

Resultados e Discussão

Os efeitos da interação dos filmes de mucilagem de chia em diferentes tipos de água foram avaliados em relação a taxa de degradação e as variações físico-químicas como indicativos de sua biodegradabilidade. A análise permitiu compreender como as condições do meio aquático influenciam o comportamento desses materiais.

A Tabela 1 apresenta os tempos médios necessários para a completa solubilização dos filmes em cada meio. A taxa de degradação dos filmes variou consideravelmente entre os diferentes tipos de água testados.

Tabela 1 - Tempo médio de solubilização dos filmes de mucilagem de chia

Tipo de água	Tempo de solubilização (min)
Salgada	230,00 ± 14,14[a]
Salobra	155,00 ± 10,00[b]
Doce	156,67 ± 11,55[b]
Destilada	40,00 ± 0,00[c]
Deionizada	40,00 ± 0,00[c]
Mili-q	40,00 ± 0,00[c]

Média de três valores com desvio padrão. Letras minúsculas iguais na coluna indicam que não há diferença significativa entre as médias ($p<0{,}05$).

Fonte: Elaborado pelas autoras

Os filmes imersos em águas purificadas (destilada, deionizada e Milli-Q) apresentaram os menores tempos de solubilização, com degradação completa observada em aproximadamente 40 min. Esse comportamento pode ser atribuído à baixa concentração de íons dissolvidos nesses sistemas, o que favorece a dispersão da mucilagem na matriz aquosa, facilitando sua desintegração. Deroiné et al. (2014) observaram resultado semelhante ao estudar a degradação de materiais biodegradáveis em água destilada e do mar, destacando que a ausência de sais minerais facilita a penetração da água na estrutura polimérica, acelerando o processo de degradação.

Em contraste, maiores tempos de solubilização foram observados nos sistemas contendo mais sais dissolvidos, especialmente na água salgada, onde os filmes demandaram cerca de 230 min para se degradar completamente. Esse resultado reforça que a alta salinidade e a força iônica elevada deste meio podem dificultar a penetração da água no filme.

Além da solubilidade, as alterações nos parâmetros físico-químicos das amostras também refletem o comportamento dos filmes nos diferentes meios. A Tabela 2 apresenta os valores de pH e cor, antes e após a solubilização dos filmes.

Tabela 2 - Variações de pH e cor nas amostras de água antes e após a solubilização dos filmes

Tipo de água	pH		Cor (PCU)	
	Antes da solubilização	Após a solubilização	Antes da solubilização	Após a solubilização
Salgada	$7,79 \pm 0,17^{a,A}$	$7,76 \pm 0,04^{a,A}$	$430,50 \pm 2,12^{a,B}$	$507,00 \pm 12,73^{a,A}$
Salobra	$6,74 \pm 0,13^{b,A}$	$6,90 \pm 0,13^{b,A}$	$193,33 \pm 7,64^{b,B}$	$274,00 \pm 5,66^{b,A}$
Doce	$6,35 \pm 0,04^{c,A}$	$6,62 \pm 0,18^{c,A}$	$21,00 \pm 1,00^{c,B}$	$77,33 \pm 2,08^{c,A}$
Destilada	$7,05 \pm 0,04^{d,A}$	$6,11 \pm 0,08^{d,B}$	nd	$49,50 \pm 4,95^{d}$
Deionizada	$6,02 \pm 0,05^{e,B}$	$6,17 \pm 0,03^{d,A}$	nd	$44,00 \pm 4,24^{de}$
Mili-q	$5,78 \pm 0,08^{e,B}$	$6,00 \pm 0,04^{d,A}$	nd	$33,50 \pm 3,54^{e}$

nd =Não detectado. Média de três valores com desvio padrão. Letras minúsculas iguais na coluna indicam que não há diferença significativa entre as médias dentre de um parâmetro antes ou após a solubilização ($p<0,05$). Letras maiúsculas iguais na linha indicam que não há diferença significativa entre as médias de um mesmo parâmetro em um mesmo tipo de água ($p<0,05$).

Fonte: Elaborado pelas autoras

Em relação ao pH, verificou-se que nas amostras de água salgada, salobra e doce, o valor permaneceu estatisticamente o mesmo após a solubilização dos filmes, sugerindo que a interação com o material não alterou significativamente a acidez desses cenários reais. Já nas águas purificadas, ocorreram mudanças mais expressivas, o pH aumentou ligeiramente nas águas deionizada e Milli-Q, enquanto na água destilada houve uma redução significativa. Essas variações podem estar relacionadas à liberação de compostos (como xilose, glicose e ácido glucurônico) da mucilagem durante o processo de solubilização.

Quanto à cor, foi observado um aumento significativo em todos os meios após a degradação dos filmes, indicando a liberação de sólidos dissolvidos oriundos da mucilagem de chia para o meio.

A Tabela 3 apresenta os valores de turbidez e salinidade observados antes e após a solubilização dos filmes de mucilagem de chia em diferentes tipos de água.

Tabela 3 - Valores de turbidez e salinidade das amostras de água antes e após a solubilização dos filmes

Tipo de água	Turbidez (NTU)		Salinidade (%)	
	Antes da solubilização	Após a solubilização	Antes da solubilização	Após a solubilização
Salgada	$82,23 \pm 1,29^{a,B}$	$88,23 \pm 1,91^{a,A}$	$30,10 \pm 0,26^{a,A}$	$30,67 \pm 0,72^{a,A}$
Salobra	$25,85 \pm 1,30^{b,B}$	$34,70 \pm 0,56^{b,A}$	$1,27 \pm 0,01^{b,A}$	$1,27 \pm 0,03^{b,A}$
Doce	$7,86 \pm 0,11^{c,B}$	$20,20 \pm 0,17^{c,A}$	$0,05 \pm 0,01^{c,A}$	$0,06 \pm 0,01^{c,A}$
Destilada	$1,58 \pm 0,13^{d,B}$	$9,60 \pm 0,42^{e,A}$	$<0,00 \pm 0,00^{c,A}$	$0,01 \pm 0,00^{c,A}$
Deionizada	$1,04 \pm 0,07^{d,B}$	$15,73 \pm 0,61^{d,A}$	$<0,00 \pm 0,00^{c,B}$	$<0,00 \pm 0,00^{c,A}$
Mili-q	$0,22 \pm 0,03^{d,B}$	$9,66 \pm 0,48^{e,A}$	$<0,00 \pm 0,00^{c,B}$	$<0,00 \pm 0,00^{c,A}$

Média de três valores com desvio padrão. Letras minúsculas iguais na coluna indicam que não há diferença significativa entre as médias dentre de um parâmetro antes ou após a solubilização ($p<0,05$). Letras maiúsculas iguais na linha indicam que não há diferença significativa entre as médias de um mesmo parâmetro em um mesmo tipo de água ($p<0,05$).

Fonte: Elaborado pelas autoras

Com relação à turbidez, foi observado um aumento estatisticamente significativo em todos os tipos de água após a solubilização dos filmes. Esse ocorrido pode ser atribuído à liberação de partículas em suspensão, parcialmente solubilizados, resultantes da degradação do filme de mucilagem. Além disso, é importante considerar que a turbidez em águas purificadas pode ter sido influenciada por fatores externos, como contaminações dos frascos ou do equipamento, do manuseio ou de falhas nos sistemas de purificação, como resinas saturadas e formação de biofilmes (limo). Apesar dessas possibilidades, a tendência de aumento da turbidez é consistente com a dispersão de partículas do filme nos meios com menor força iônica.

No que se refere à salinidade, o perfil estatístico entre os diferentes tipos de água foi mantido mesmo após a solubilização dos filmes. Apenas as águas deionizada e Milli-Q, que inicialmente apresentaram valores muito baixos, apresentaram um leve aumento significativo nos valores após a solubilização. Esse incremento pode ser atribuído à liberação de íons da própria

mucilagem de chia, que pode conter traços de compostos orgânicos ou minerais absorvidos durante o cultivo da planta ou processamentos anteriores à formulação dos filmes.

É relevante destacar que a água deionizada remove sais por meio de troca iônica, enquanto a água Milli-Q passa por processos mais rigorosos, como pré-filtração, osmose reversa, resinas de troca iônica, filtração e exposição à radiação UV. Assim, mesmo pequenas alterações nos parâmetros físico-químicos podem ser evidentes após a adição de substâncias que liberem íons, como observou-se neste experimento.

Nos sistemas com água doce, salgada e salobra, que são cenários reais, foi observado que os filmes de mucilagem de chia apresentaram alguns agregados com impurezas presentes no meio após a solubilização do filme. Estes agregados resultaram na decantação do material para o fundo do recipiente quando promovida a tranquilização após um tempo. Esse fenômeno pode ser resultado da interação da mucilagem com matéria orgânica e sais dissolvidos, formando flocos visíveis e densos, que indicam a ocorrência de mecanismos semelhantes à coagulação/floculação. Este fenômeno é importante para ser considerado para aqueles cenários ambientais onde há corpos hídricos lênticos, que são aqueles ambientes de águas paradas ou com fluxo muito lento, como lagos, lagoas, represas e açudes. O depósito de material no fundo nesses ambientes pode promover redução da profundidade, alteração da comunidade bentônica e consumo de oxigênio. Tal comportamento foi descrito por (Muñoz et al., 2012), o qual indicou que a hidratação da mucilagem foi significativamente maior quando a concentração de sal diminuiu, ou seja, indicando que em meios com alta força iônica, a solubilidade da mucilagem é reduzida. Isso sugere que a presença destes compostos, pode promover interações que afetam a solubilidade e a dispersão da mucilagem, potencialmente levando à floculação ou coagulação espontânea dos polissacarídeos presentes.

A Figura 2 ilustra visualmente as diferenças entre os diferentes tipos de águas após a solubilização completa e tranquilização. Em águas com baixa salinidade, foi observado total dispersão do filme, enquanto em meios mais salinos ou com possível matérias orgânicas presentes predominam sedimentos visíveis no fundo do recipiente.

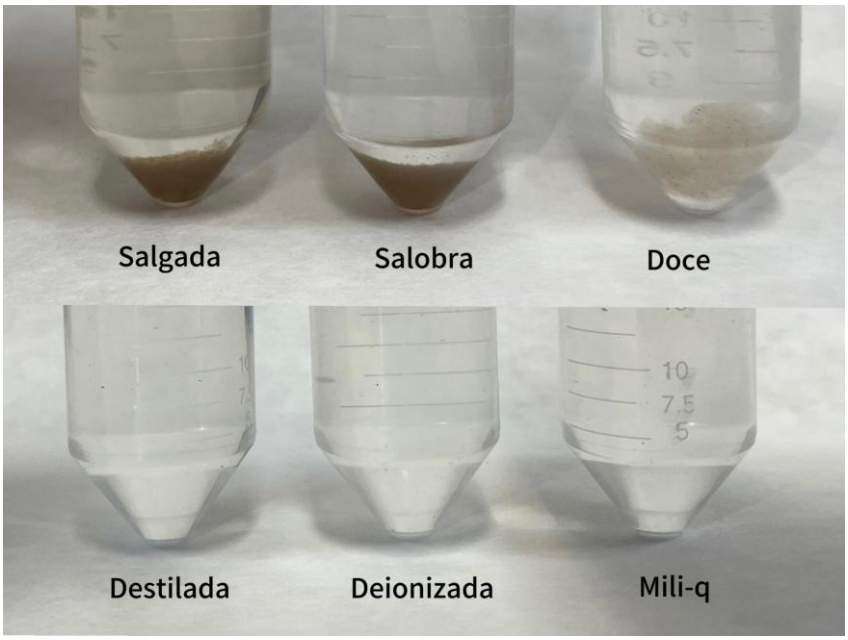


Figura 2: Aspecto visual dos filmes de mucilagem de chia após solubilização em diferentes tipos de água.

Esses resultados têm grande relevância para a aplicação dos filmes em ambientes reais. A rápida solubilização em águas sugere que os filmes à base de mucilagem de chia são promissores para uso como embalagens biodegradáveis ou matrizes temporárias em contextos de descarte controlado. No entanto, a persistência do material em águas salinas e salobras revela uma limitação em termos de biodegradabilidade marinha. Nesses ambientes, a tendência de aglomeração e decantação pode retardar o processo de degradação, exigindo estudos adicionais para avaliar a biodegradação a longo prazo e possíveis impactos ecológicos. Já em ambientes de água doce, o filme demostrou uma aglomeração de mucilagem no fundo, após longos períodos de tempo, no entanto quando movimentou-se o recipiente o filme dispersasse na água completamente.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas explorem a modificação da formulação dos filmes para melhorar sua performance em ambientes de alta salinidade. Estratégias como a adição de agentes hidrofílicos ou ajustes no pH da matriz podem ampliar o espectro de aplicação ambiental desses biopolímeros.

Conclusões

Os filmes de mucilagem de chia demonstraram comportamento promissor quanto à sua biodegradabilidade, especialmente em águas purificadas, nas quais apresentaram rápida solubilização. Em contrapartida, em ambientes com maior salinidade e presença de impurezas, observou-se formação de agregados e decantação, o que evidencia limitações em sua degradação plena. As alterações físico-químicas observadas, como aumento de turbidez, cor e leves variações no pH e na salinidade, reforçam que

compostos oriundos da mucilagem são liberados no meio, contribuindo para a caracterização do processo de degradação. Tais resultados ressaltam a viabilidade desses filmes como alternativas sustentáveis para embalagens, desde que o descarte ocorra em ambientes compatíveis com sua estrutura. Recomenda-se a continuidade dos estudos com foco em ajustes de formulação, especialmente para ambientes marinhos, com vistas à ampliação de seu potencial de aplicação ecológica.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer as Fundações CNPq, Capes e FAPERGS, a Universidade do Rio Grande pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Perfil 2023: Indústria do plástico impulsiona economia brasileira, gerando mais de 370 mil empregos. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/noticias/perfil-2023-industria-do-plastico-impulsiona-economia-brasileira-gerando-mais-de-370-mil-empregos/. Acesso em: 6 maio 2025.

DEROINÉ, M.; LE DUIGOU, A.; CORRE, Y. M.; LE GAC, P. Y.; DAVIES, P.; CÉSAR, G.; BRUZAUD, S. 2014. Accelerated ageing of polylactide in aqueous environments: Comparative study between distilled water and seawater. **Polymer Degradation and Stability**, v. 108, p. 319–329, 1.

FERNANDES, S. S.; DA SILVA CARDOSO, P.; EGEA, M. B.; QUINTAL MARTÍNEZ, J. P.; SEGURA CAMPOS, M. R.; OTERO, D. M. 2023. Chia mucilage carrier systems: A review of emulsion, encapsulation, and coating and film strategies. Food Research International, v. 172, p. 113125.

FERNANDES, S. S.; ROMANI, V. P.; DA SILVA FILIPINI, G.; G. MARTINS, V. 2020. Chia seeds to develop new biodegradable polymers for food packaging: Properties and biodegradability. Polymer Engineering & Science, v. 60, n. 9, p. 2214–2223.

FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. 2017. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. Food Chemistry, v. 227, p. 237–244.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. 1994. Edible composite films of wheat and lipids: water vapor permeability and other physical properties. International journal of Foof Science Technology, v. 29, p. 39-50.

GRISALES-MEJÍA, J. F.; MARTÍNEZ-CORREA, H. A.; ANDRADE-MAHECHA, M. M. 2024. Biodegradable and antioxidant films with barrier properties to visible and ultraviolet light using Hass avocado (Persea americana Mill.) by-products. Food and Bioproducts Processing.

MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. 2012. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 1, p. 216–224.

WOLF, K. L. 2007. Propriedades físico-químicas e mecânicas de biofilmes elaborados a partir de fibra e pó de colágeno. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e ciências de alimentos) — Universidade estadual Paulista- São Jose do Rio Preto-2007.

XIMENES, J. DE A.; AGUIAR, P. A. DE; PAES, É. R. DA C. 2022. Propriedades físico-químicas e organolépticas da mucilagem da chia (Salvia hispanica L.). Brazilian Journal of Development, p. 56030–56038.

UTILIZAÇÃO DA RAÍZ DE MORINGA OLEÍFERA COMO BIOSSORVENTE DO BÁRIO

1Ana Laura Miras, 2Deusmaque Carneiro Ferreira, 3Carla Eloisa Diniz dos Santos, 4Patrícia Diniz Martins

1Universidade Federal do Triângulo Mineiro. E-mail: d201811494@uftm.edu.br; 2Universidade Federal do Triângulo Mineiro. E-mail: deusmaque.ferreira@uftm.edu.br; 3Universidade Federal do Triângulo Mineiro. E-mail: carla.santos@uftm.edu.br; 4Universidade Federal do Triângulo Mineiro. E-mail: patricia.martins@uftm.edu.br.

Palavras-chave: Adsorção; Contaminação; Toxicologia ambiental.

Resumo

O presente estudo aborda a interação entre a planta *Moringa Oleífera* e a absorção de bário em suas raízes. Com o objetivo de compreender o comportamento da *Moringa Oleífera* frente à contaminação por esse metal pesado, foram conduzidos experimentos em ambiente controlado. Inicialmente, foram selecionadas diversas amostras de raízes de *Moringa Oleífera* e submetidas a diferentes concentrações de bário em solução. Os resultados demonstraram que a raiz da *Moringa Oleífera* apresentou uma maior capacidade de absorver o bário em comparação com outras raízes analisadas. Na análise da relação entre a contaminação ambiental de bário e a adsorção pela *Moringa Oleífera*, observou-se que a quantidade de bário adsorvida pela planta aumenta proporcionalmente ao nível de contaminação ambiental. Além disso, foi constatado que a raiz da planta tem uma maior capacidade de absorção em comparação com o caule e a parte aérea. Essa descoberta é relevante para entender os processos de adsorção de metais pesados por plantas e suas implicações no ecossistema. Os achados deste estudo contribuem para o aprofundamento do conhecimento na área de toxicologia ambiental e fitoquímica, fornecendo subsídios para a compreensão dos efeitos da contaminação por bário, outros metais pesados no meio ambiente e potenciais aplicações da *Moringa Oleífera* como planta remediadora em áreas contaminadas. Este estudo ressalta a importância da continuidade de pesquisas sobre os mecanismos de adsorção de metais pesados pelas plantas, bem como a necessidade de medidas preventivas para reduzir a contaminação ambiental, visando preservar a saúde dos ecossistemas e a segurança da população.

Introdução

A poluição de recursos hídricos por metais pesados é uma crescente preocupação entre pesquisadores e autoridades governamentais (Oliveira et al., 2001), especialmente devido à presença de substâncias tóxicas e nocivas à saúde humana, que têm a capacidade de se acumularem ao longo do tempo (Reddy et al., 2010). Dentre esses contaminantes encontra-se o bário (Ba), um metal alcalino terroso de elevada toxicidade quando solúvel. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, na sigla em inglês), considera o bário como potencial poluente (USEPA, 2003). No Brasil, a Portaria GM/MS n. 888/21, publicada em 2011 pelo Ministério da Saúde, estabelece os processos de controle da qualidade da água para consumo humano e os padrões de potabilidade (Brasil, 2021). Essa Portaria define os valores máximos permitidos de substâncias na água, levando em consideração que a concentração ingerida ao longo da vida não apresenta riscos à saúde (Ribeiro, 2012). Para o Bário, a Portaria estabelece um limite máximo de 0,7 ppm (Brasil, 2021). Em função das múltiplas vantagens associadas ao processo de adsorção biológica de metais em águas, é essencial a busca por abordagens economicamente viáveis e inovadoras (Santos et al., 2010b).

Nesse contexto, alguns biossorventes, como bagaço de cana-de-açúcar para a remoção de Chumbo (Santos et al., 2010b), Mostarda, Girassol e Mamona para a remoção de Bário (Coscione, 2009), e o uso de sementes da *Moringa Oleífera* para a adsorção de Cromo (Souza et al., 2021), têm sido estudados como alternativas para a remoção de metais pesados em solução.

A *Moringa Oleífera*, uma planta pertencente à família Moringaceae (Katayon et al., 2006), tem sido amplamente estudada em estudos de descontaminação de águas. Além de sua capacidade de adaptação a climas secos, a *Moringa Oleífera* também é conhecida por suas propriedades clarificantes e alto valor nutricional (Jahn, 1989). Estudos recentes têm demonstrado que as folhas, vagens e sementes da *Moringa Oleífera* são altamente eficientes na remoção de Bário de águas contaminadas, com taxas de eficiência em torno de 99% (Melo et al., 2021). No entanto, ainda não há constatações sobre a eficácia da raiz da *Moringa Oleífera* para essa finalidade.

A adsorção biológica é uma abordagem vantajosa para a remoção de contaminantes, pois utiliza materiais naturais como a *Moringa Oleífera*, que são economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis. A capacidade dessa planta em absorver bário pode fornecer uma alternativa eficaz para a descontaminação de águas e contribuir para a proteção dos recursos hídricos e da saúde pública, atendendo aos padrões estabelecidos pelas regulamentações governamentais para a qualidade da água de consumo humano (Camargo, et al., 2001).O objetivo deste estudo consistiu em avaliar o potencial fitorremediador da raiz da *Moringa Oleífera*, bem como quantificar a presença de bário nas folhas e caule dessa planta, a qual é encontrada em solos e águas de várias regiões do mundo, incluindo o Brasil.

Material e Métodos

Análises da parte aérea e das raízes das plantas

A massa seca da parte aérea e da raiz se deu após secagem em estufa a 60-65°C até o peso constante. A análise química das amostras foi realizada de acordo com o procedimento abertura via úmida. Foram separados 0,20 ± 0,19 g da amostra (folha,

caule, raiz) e adicionados 7 ml da mistura dos ácidos HNO_3 / $HClO_4$ na proporção de 3:1. No bloco digestor, na capela, as amostras foram colocadas sob temperatura de 50°C e após estabilizar e manter por 30 minutos, a temperatura foi aumentada para 100°C, repetindo o processo nas temperaturas de 120°C, 150°C, 180°C e 210°C.

Após o procedimento de aquecimento, as amostras foram homogeneizadas utilizando um agitador de tubos tipo Vortex. Após o resfriamento a temperatura ambiente, as amostras solubilizadas foram diluídas em 25 ml de água destilada e armazenada em tubos Falcon. As amostras diluídas foram filtradas e centrifugadas, a fim de sedimentar os sólidos suspensos. Na sequência, uma alíquota de 5 ml será coletada e encaminhada para leitura no MPAES-4200 da Agilent.

Análises estatística

Com o objetivo de avaliar o impacto dos diferentes fatores variáveis e identificar a condição experimental mais eficiente em relação à adsorção, foi conduzida uma análise dos percentuais de remoção de metais e das capacidades de adsorção. Adicionalmente, os gráficos de curvas de contorno gerados através do software Statistica 7.0 também foram examinados no estudo.

Análises de resistência e o crescimento da planta

Construiu-se o sistema de tratamento, conforme segue: três sementes de *Moringa Oleífera* foram plantadas em 17 diferentes recipientes plásticos, com alguns furos na parte inferior do recipiente para que as raízes pudessem atingir o meio contaminado com o metal, de 13 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

O sistema foi montado no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), porém para que as plantas recebessem luz solar, os vasos foram levados para o laboratório de compostagem da universidade.

Cada vaso foi irrigado igualmente com 100mL de água destilada em dias alternados, a fim de avaliar o crescimento da planta durante todo o processo de germinação dos vasos, os brotos foram medidos com o auxílio de uma régua uma vez por semana, durante 40 dias.

As plantas foram cultivadas por 40 dias recebendo adubações e tratos culturais conforme necessário. Após esse período as plantas foram colhidas e coletadas para as análises.

Teste de fitotoxicidade com sementes de Moringa Oleífera

O teste de fitotoxicidade foi realizado com as sementes de *Moringa Oleífera*, baseado na metodologia de Peduto, Jesus, Kohatsu (2019), com adaptações. Foram utilizadas cinco concentrações de bário (0.82, 0.97, 13.78, 26.59 e 28.38 ppm), além do controle neutro (apenas água destilada). O plantio foi realizado em 6 placas de Petri de vidro forradas em seu interior com papel toalha. Para cada solução, foram feitas 3 réplicas. Nas placas foram colocadas três sementes dispostas aleatoriamente e avolumadas 10 ml das soluções a serem testadas. As placas foram envolvidas em papel filme, levadas a BOD a 27ºC por um período de 14 dias e mais 7 dias fora da BOD para finalizar a germinação. A germinação foi analisada em dias alternados e, após 21 dias foram realizadas as medições dos tamanhos das radículas.

Com as medições foram calculados os seguintes índices: porcentagem de germinação absoluta (%GA) (Equação 1); porcentagem do crescimento relativo das radículas (%CRR) (Equação 2); índice de germinação (IG) (Equação 3) e crescimento relativo da radícula (CRR).

$$\%\ GA = \frac{média\ aritméticadas\ sementes\ germinadas\ nas\ concentrações\ testes}{média\ aritmética\ das\ sementes\ germinadas\ no\ controle\ neutro}\ X\ 100 \quad (1)$$

$$\%\ CRR = \frac{média\ aritmética\ do\ comprimento\ das\ radículas\ das\ concentrações\ testes}{média\ aritmética\ do\ comprimento\ das\ radículas\ no\ controle\ neutro}\ X\ 100 \quad (2)$$

$$IG = \frac{(\%GA)X\ (\%CRR)}{100} \quad (3)$$

$$CRR = \frac{média\ aritmética\ do\ comprimento\ das\ radículas\ da\ concentração\ teste}{média\ aritmética\ do\ comprimento\ das\ radículas\ no\ controle\ neutro} \quad (4)$$

A avaliação do grau de fitotoxicidade das amostras foram feitas e analisadas de acordo com as Tabelas 1 e 2 (Lumbaque et al., 2016; Belo, 2011; Peduto, Jesus, Kohatsu, 2019).

Tabela 1. Classificação a partir do Crescimento Relativo da Raiz (CRR).

Faixa	Efeito
0<CRR<08	Inibição do crescimento da raiz
0,8≤CRR≤1,2	Nenhum efeito significativo
CRR>1,2	Estímulo do crescimento da raiz

Fonte: Lumbaque et al., 2016; Peduto, Jesus, Kohatsu, 2019.

Tabela 2. Classificação a partir do índice de germinação (IG).

Índice de Germinação (IG)	Classificação
<30	Muito fitotóxico
30-60	Fitotóxico
60-80	Moderadamente fitotóxico
80-100	Não fitotóxico
>100	Potencializa a germinação

Fonte: Lumbaque et al., 2016; Peduto, Jesus, Kohatsu, 2019.

Resultados e Discussão

Análises da parte aérea, caule e raízes das plantas

Considerando os ensaios que apresentaram brotos, coletaram-se os brotos maiores, priorizando o uso de amostras para a análise subsequente. Posteriormente, esses brotos foram separados em três partes distintas: raiz, caule e folhas. Cada parte foi triturada e, em seguida, a massa de cada componente foi determinada (Tabela 3). Esta etapa de separação e pesagem minuciosa permitiu obter dados fundamentais para a análise e interpretação dos resultados.

Tabela 3: Massas das frações de *Moringa Oleífera*.

Amostra	Peso Folhas (g)	Peso caule (g)	Peso Raiz (g)
16	0,0298	0,0105	0,0103
15	0,0479	0,0772	0,0066
7	0,0295	0,0561	0,0486
17	0,0414	0,0457	0,0068
2	0,0571	0,0719	0,0427
8	0,0116	0,033	0,0095
12	0,0825	0,1031	0,0179
5	0,784	0,0394	0,0151
11	0,032	0,0428	0,0108
9	0,0278	0,037	0,0262
10	0,0038	0,0308	0,0101
1	0,0953	0,0926	0,0362

Fonte: Autores

Após a etapa de decomposição via úmida, as amostras foram preparadas para a análise de teor de bário.

Tabela 4: Teor de Bário nas amostras.

Amostra	Teor de Bário nas folhas (mg/kg)	Teor de Bário no caule (mg/kg)	Teor de Bário na raiz (mg/kg)
16	<LQ	<LQ	<LQ
15	<LQ	<LQ	<LQ
7	<LQ	<LQ	<LQ
17	<LQ	<LQ	<LQ
2	0,07	0,75	0,98
8	<LQ	0,52	1,15
12	0,15	0,41	1,65
5	0,08	0,2	0,63
11	<LQ	<LQ	<LQ
9	0,03	0,45	0,51
10	0,02	0,52	0,59
1	<LQ	0,11	0,35

Fonte: Autores

Os resultados indicaram que a amostra 12, tratada com 28,38 ppm de bário, apresentou um teor significativamente mais elevado desse elemento em suas raízes em comparação com as demais amostras. Por outro lado, a amostra 7, tratada com apenas 0,82 ppm de bário, demonstrou limites abaixo do nível de quantificação, assim como as amostras 11, 15, 16 e 17, que receberam apenas água destilada, não apresentando detectáveis teores de bário em suas raízes.

Com base nos resultados observados, fica evidente que a quantidade de bário utilizada no tratamento tem uma influência direta na quantidade de bário absorvida pelas frações. Quanto maior a quantidade de bário recebida pelas amostras, maior é a quantidade de bário que é absorvida por elas. Essa relação entre a quantidade de bário no tratamento e a quantidade absorvida pelas frações indica uma clara dependência entre os dois fatores.

Análises estatística dos resultados

De acordo com os gráficos gerados no software Statistica 7.0, os resultados obtidos revelaram uma distribuição diferenciada de absorção de bário entre as diferentes partes da planta.

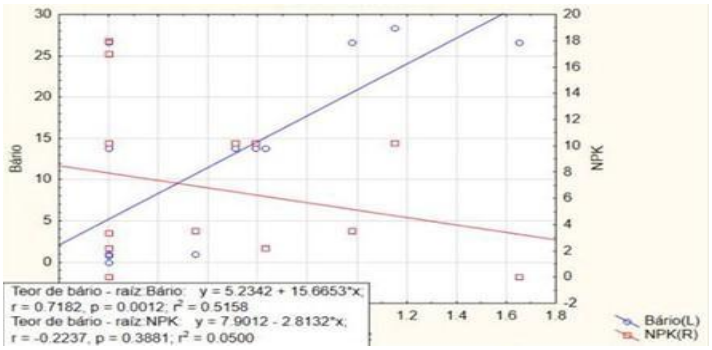


Figura 1. Teor de bário absorvido pela raiz.
Fonte: Autores

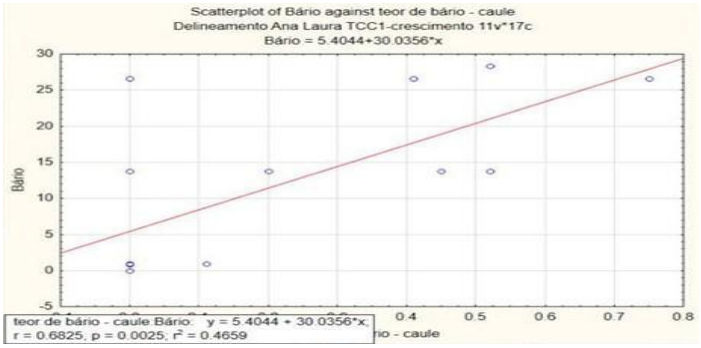


Figura 2. Teor de bário absorvido pelo caule.
Fonte: Autores

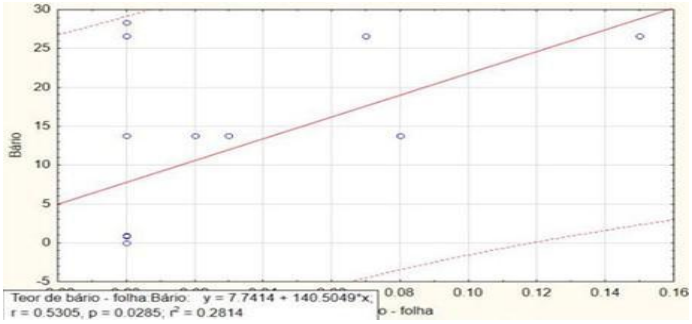


Figura 3. Teor de bário absorvido pela folha.
Fonte: Autores

A partir da análise dos gráficos, observa-se uma tendência de diminuição do erro (r^2), o que sugere que a raiz da *Moringa Oleífera* apresenta uma maior capacidade de absorção de bário em comparação com o caule. Adicionalmente, os resultados indicam que o caule exibe uma absorção superior de bário em relação à parte aérea da planta.

A diminuição do erro está diretamente relacionada com o processo de adsorção. O fato de a raiz apresentar uma maior capacidade de absorção de bário em relação ao caule pode estar relacionado com a maior disponibilidade de sítios de adsorção na superfície das células radiculares, que facilitam a interação com íons metálicos presentes na água contaminada.

Análises de resistência e o crescimento da planta

A fim de avaliar o crescimento dos brotos e a sua resistência, foram feitas medidas semanais de todos aqueles que germinaram. Em controle neutro, das 12 sementes apenas quatro germinaram durante o experimento (Figura 4).

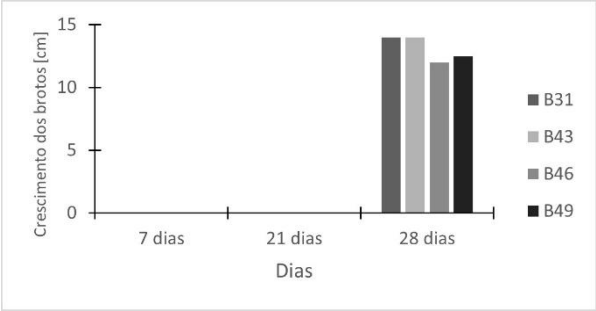


Figura 4. Crescimento dos brotos em controle neutro.
Fonte: Autores

Nos vasos que receberam o tratamento de 0,82 ppm de Bário, de 3 sementes, apenas um germinou. A figura 5 mostra o crescimento deste durante o experimento:



Figura 5. Crescimento do broto com tratamento de 0,82 ppm de bário.
Fonte: Autores

Nos vasos que receberam o tratamento de 0,97 ppm de bário, de 9 sementes, apenas 2 germinaram. A Figura 6 mostra o crescimento desses durante o experimento:

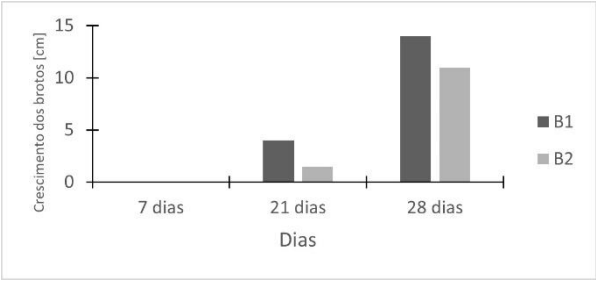


Figura 6. Crescimento do broto com tratamento de 0,97 ppm de bário.
Fonte: Autores

Nos vasos que receberam o tratamento de 13,78 ppm de bário, de 12 sementes, apenas 4 germinaram. A Figura 7 mostra o crescimento desses durante o experimento:

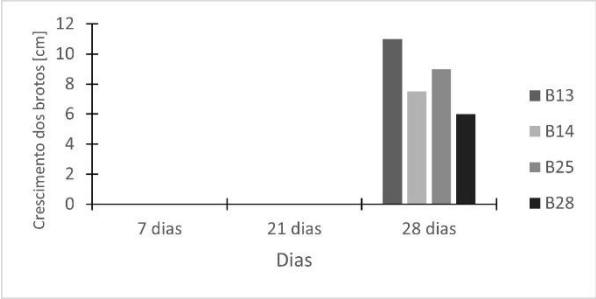


Figura 7. Crescimento do broto com tratamento de 13,78 ppm de bário.
Fonte: Autores

Nos vasos que receberam o tratamento de 26,59 ppm de bário, de 9 sementes, apenas 2 germinaram (Figura 8).

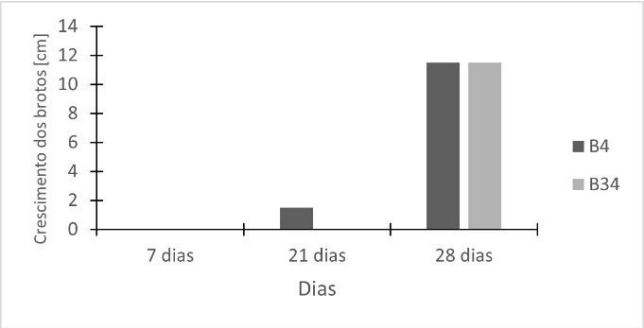


Figura 8. Crescimento do broto com tratamento de 26,59 ppm de bário.
Fonte: Autores

Nos vasos que receberam o tratamento de 28,38 ppm de bário, de 3 sementes, apenas 1 germinou (Figura 9).

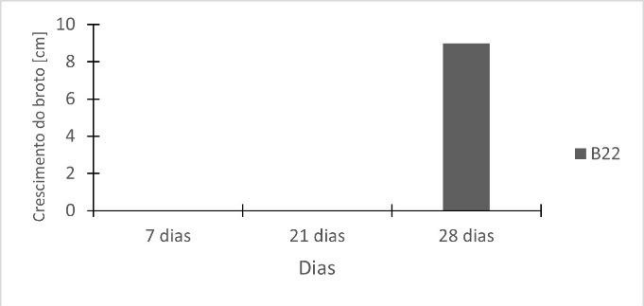


Figura 9. Crescimento do broto com tratamento de 28,38 ppm de bário.
Fonte: Autores

Dessa forma, é possível verificar que mais sementes cultivadas em controle neutro germinaram e as mesmas apresentaram maior crescimento geral dos brotos. Em seguida, os tratamentos de 0,97 ppm e 13,78 ppm apresentaram os maiores crescimentos. Também é possível verificar que os brotos cultivados em 0,97 ppm e 16,59 ppm germinaram antes que os demais.

Teste de fitotoxicidade com sementes de Moringa Oleífera

Seguindo a metodologia de Peduto, Jesus, Kohatsu (2019), foram calculados os índices de germinação absoluta e os crescimentos relativos das radículas para cada tratamento, que foram feitos em triplicata, comparados com os germinados em controle neutro.

De acordo com Gryczak et al. (2018), o valor de 85% indica que a espécie fornece dados confiáveis, ou seja, não apresenta toxicidade. O índice de germinação absoluta em porcentagem, em sua maioria, ultrapassou os 100% em todos os tratamentos, sendo o tratamento de 26,59 ppm com maior índice de germinação em porcentagem média (Figura 10).

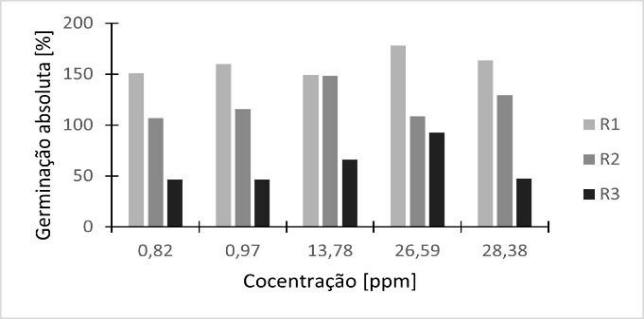


Figura 10. Percentual de germinação absoluta das sementes de *Moringa Oleífera* nas diferentes concentrações de bário.
Fonte: Autores

O crescimento relativo das radículas também apresentou resultados acima de 100%, sendo o tratamento de 26,59 apresentando o maior crescimento relativo das radículas médio entre as repetições (Figura 11).

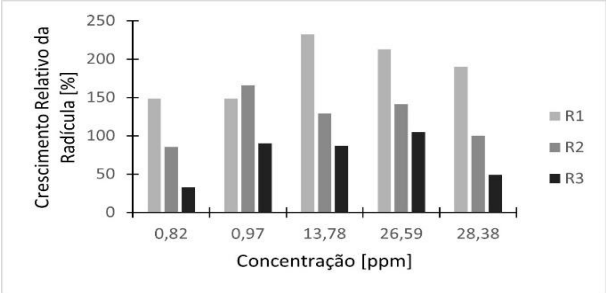


Figura 11. Percentual do crescimento relativo da radícula das sementes de *Moringa Oleífera* nas diferentes concentrações de bário.
Fonte: Autores

Para o tratamento de 0,82 ppm o crescimento relativo das radículas médias entre as repetições foi de 0,89 o que não apresenta nenhum efeito significativo do bário em relação a germinação das sementes. No mesmo tratamento foi observado um índice de germinação médio entre as repetições de 110,13 o que significa uma potencialização da germinação.

Para as sementes colocadas sob o tratamento de 0,97 ppm, o crescimento relativo das radículas entre as repetições foi de 1,35 o que indica que a partir dessa concentração, o bário já estimula o crescimento das mesmas. O índice de germinação para esse tratamento foi de 162,83 o que também sugere a potencialização da germinação.

Nas sementes que receberam o tratamento de 13,78 ppm apresentaram crescimento relativo das radículas médias entre as repetições de 1,49 e índice de germinação médio entre as repetições de 204,7. Ambos os índices indicam que o bário potencializa a germinação e estimula o crescimento das sementes sob esse tratamento.

Para as sementes colocadas sob o tratamento de 26,59 ppm o crescimento relativo das radículas entre as repetições foi de 1,53 e o índice de germinação médio observado entre as repetições foi de 210,12. Dessa forma, os índices também indicam que o bário potencializa a germinação e estimula o crescimento das sementes sob esse tratamento.

Por último, as sementes que receberam o tratamento de 28,38 ppm apresentaram crescimento relativo das radículas médio entre as repetições de 1,13 e índice de germinação médio entre os tratamentos de 154,7 sugerindo que o bário potencializa a germinação.

A variação do índice de germinação e do crescimento relativo da radícola de acordo com as diferentes concentrações de bário estão dispostos nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

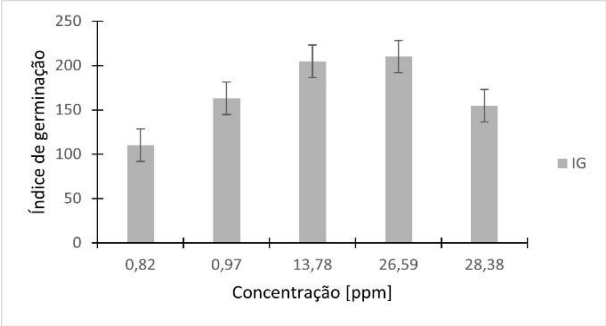


Figura 12. Índices de germinação (IG) médios calculados para cada concentração e os respectivos erros médios padrão associados.
Fonte: Autores

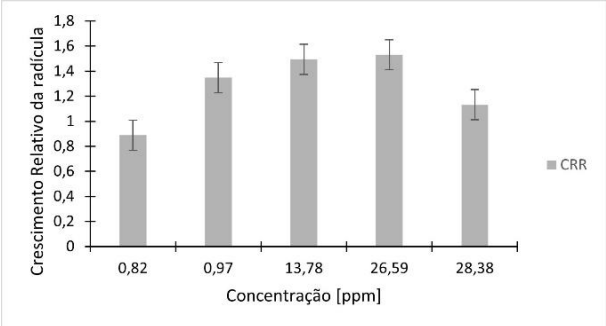


Figura 13. Crescimento Relativo da Radícula (CRR) médios calculados para cada concentração e os respectivos erros médios padrão associados.
Fonte: Autores

Conclusão

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

• A raiz de *Moringa Oleífera* tem a capacidade de absorver e acumular bário em suas raízes.

• A quantidade de bário acumulado é maior nas raízes do que em caule e folhas.

• Quanto maior a contaminação de bário presente no ambiente ou tratamento, maior foi a quantidade de bário adsorvida pela planta.

• Os testes de fitotoxicidade indicam que a presença do bário não é tóxica, potencializa a germinação e estimula o crescimento da *Moringa Oleífera*.

•Diante da contradição encontrada nos resultados de fitotoxicidade, é recomendável que os estudos sejam refeitos com o objetivo de analisar mais profundamente a influência do bário na germinação e no crescimento das radículas.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Triângulo Mineiro pelo apoio recebido.

Referências

Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS n° 888. Brasil, 2021.

Camargo, o.a.; alleoni, l.r.f. & casagrande, J.C., 2001, "Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos". In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; VAN RAIJ, B. & ABREU, C.A. (Ed.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Capítulo 5, Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, pp. 89-124.

Coscione, aline renée e berton, ronaldo severiano. Barium extraction potential by mustard, sunflower and castor bean. Scientia Agricola [online]. 2009, v. 66, n. 1.

Gryczak, m.; kilipper, j. T.; costa, p. D.; maccari, A. Sementes de Lactuca Sativa como Bioindicador de Toxicidade em Resíduos de Construção Civil. Revista Tecnologia e Ambiente, v. 24, 2018, 233-242.

Jahn, S. A. A. Proper use Moringa oleifera for food and water purification – selection of clones and growing of annual short-stem. Pflanzenzucht, v.4, p.22-25, 1989.

Katayon, S.; Noor, M. J. M. M.; Asma, M.; Ghani, L. A. A.; Thamer, A. M.; Azni, I.; Ahmad, J.; Khor, B. C.; Suleyman, A. M. Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. Bioresource Technology, v.97, p.1455-1460, 2006.

Melo, v. S. R.; luz, m. S. Da; cabral, b. V.; canelhas, b. B.; lemos, d. A. Avaliação das folhas, vagens e sementes da moringa oleifera na remoção de Ba2+ em água / Evaluation of leaf, vegetable, and seeds of moringa oleifera in the removal of Ba2+ in water. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 12, p. 113919–113935, 2021.

Oliveira, J. A.; Cambraia, J.; Cano, M. A. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvínia. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.13, p.329-341, 2001.

Peduto, t. A. G.; jesus, t. A.; kohatsu, m. Y. Sensibilidade de Diferentes Sementes em Ensaio de Fitotoxicidade. Revista Brasileira de Ciências, Tecnologia e Inovação, v. 4, n. 2, 2019, p. 200-212.

Reddy, D. H. K.; Seshaiah, K.; Reddy, A. V. R.; Rao, M. M.; Wang, M. C. Biosorption of Pb2+ from aqueous solutions by Moringa oleifera bark: Equilibrium and kinetic studies. Journal of Hazardous Materials, v.174, p.831-838, 2010.

Ribeiro, Maria Claudia Martins. Nova Portaria de Água: Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil. Revista do Departamento de Águas e Esgotos. N189, 2012, p 7-14.

Santos, V. C. G. dos; Tarley, C. R. T.; Caetano, J.; Dragunski, D. C. Assessment of chemically modified sugarcane bagasse for lead adsorption from aqueous medium. Water Science & Technology, v.62, p.457-465, 2010b.

Tundisi, j. G.; matsumura-tundisi, T. Integrating ecohydrology, water management and watershed economy: case studies from Brazil. Ecohydrology & Hydrobiology. V. 16, pp. 83-91, 2016.

USEPA. 2003. Standards for the use or disposal of sewage sludge; Final agency response to the National Research Council Report on biosolids applied to land and the results of EPA's review of existing sewage sludge regulations. Federal Register, v. 68, n. 250, p. 5531–75552, 2003.

ESTUDOS AMBIENTAIS NA BACIA DO RIBEIRÃO LINDÓIA (LONDRINA-PR): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

1Kauane Suelen Ruiz, 2Maria Clara Dos Santos Lopes, 3Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. e-mail: kruiz@alunos.utfpr.edu.br; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: marialopes@alunos.utfpr.edu.br; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: kprates@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Pressão urbana; Qualidade da água; Análises qualiquantitativas.

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia, localizada em Londrina-PR, tem sido significativamente impactada pela intensa e acelerada expansão urbana. Esse processo tem provocado profundas transformações ambientais, tornando-se um exemplo dos desafios enfrentados por muitos corpos hídricos submetidos à pressão urbana, com consequências negativas tanto para o ecossistema aquático quanto para o equilíbrio ecológico. Combinando métodos bibliométricos e análise de conteúdo, este estudo desenvolveu uma revisão sistemática da literatura com abordagem qualiquantitativa, com o objetivo de identificar e caracterizar as pesquisas ambientais já realizadas na bacia. Realizou-se uma busca estruturada utilizando combinações de palavras-chave específicas, resultando em um levantamento inicial de 234 documentos. Após aplicação de filtros de seleção, utilizando a ferramenta Jabref, 42 publicações foram analisadas em profundidade, na qual engloba artigos científicos, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso e entre outros. Os resultados da Análise Bibliométrica indicaram um pico na produção científica para o ano de 2013 com destaque para estudos conduzidos por instituições como a Universidade Estadual de Londrina (UEL) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Já a Análise de Conteúdo revelou que os principais eixos temáticos abordados nos trabalhos revisados foram “Qualidade da Água”, “Impactos Ambientais” e “Planejamento Urbano”, demonstrando a crescente preocupação acadêmica com os efeitos da ocupação do solo e das atividades antrópicas sobre a bacia. Concomitantemente com a análise da rede de coautorias, realizada por meio da ferramenta VOSviewer, identificou-se três clusters principais, os quais agrupam estudos em limnologia, geociências e pesquisas de caráter interdisciplinar. Os estudos analisados evidenciaram que o Ribeirão Lindóia desempenha um papel estratégico no sistema hídrico urbano de Londrina, influenciando diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos locais. Sua classificação como corpo de água de classe III reforça a necessidade de monitoramento contínuo e estratégias de mitigação para reduzir a contaminação e os impactos ambientais na região. Em vista disso, este estudo contribui para a consolidação do conhecimento científico sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia, ressaltando a importância de políticas públicas e práticas de manejo ambiental mais eficazes para assegurar a sustentabilidade hídrica e a preservação desse ecossistema. Em síntese, a investigação apresentada oferece informações relevantes para o entendimento dos impactos ambientais decorrentes da urbanização, ressaltando a importância de ações integradas de gestão e do monitoramento dos recursos hídricos na região.

Introdução

Devido ao crescimento populacional acelerado, as cidades brasileiras vêm se expandindo rapidamente, o que tem provocado significativas alterações nos ecossistemas hídricos e impactado diretamente a qualidade da água, conforme apontado por Santos (2006) e Silva (2017). Essas transformações, associadas à urbanização desordenada e às práticas agrícolas intensivas, comprometem a integridade dos corpos d’água tanto em áreas urbanas quanto rurais, sendo consequência, em parte, da conversão de áreas naturais para atividades agrícolas ou urbanísticas (Galatowitsch, 2012).

A Bacia do Ribeirão Lindóia, localizada em Londrina-PR, destaca-se como uma das regiões mais impactadas, evidenciado pelo intenso processo de ocupação urbana e industrial. A preocupação com esses impactos já era registrada por Limberger (2005), que alertava para os efeitos da urbanização sobre a qualidade hídrica da bacia, destacando a necessidade de atenção contínua a esses processos. Desde então, o monitoramento de parâmetros ambientais, com destaque para limnológicos e microbiológicos, tem se mostrado fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região (Silva et al., 2021; 2022; Piacenza, 2021; Oliveira, 2023).

Embora existam estudos que avaliam aspectos da qualidade hídrica na Bacia do Ribeirão Lindóia, observa-se uma fragmentação nas abordagens, com diferentes metodologias, recortes espaciais e variáveis analisadas, o que dificulta a construção de um panorama integrado e comparativo sobre a evolução da qualidade da água na região. Essa lacuna evidencia a necessidade de uma síntese sistemática dos conhecimentos produzidos, capaz de identificar padrões, inconsistências e pontos ainda pouco explorados na literatura científica.

Diante desse cenário, o presente estudo realiza uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar e analisar os trabalhos que abordam pesquisas ambientais existentes na bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia. Como destacado por Botelho, Cunha & Macedo (2011) e Ingram et al. (2006), a revisão da literatura é um passo importante na construção do conhecimento científico, pois permite não apenas sintetizar os estudos realizados, mas também identificar lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de novas pesquisas. A abordagem adotada, que combina métodos bibliométricos e análise de conteúdo, possibilita o mapeamento da produção científica e acadêmica sobre o tema, apontando tendências e direcionando estratégias para o manejo ambiental.

Metodologia

Área de estudo

Localizado no norte do Paraná, o município de Londrina possui uma rede hidrográfica composta por seis macrobacias, entre as quais se destaca a bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia (SIGLON, 2024). Com 43 km de extensão, trata-se da segunda maior bacia urbana do município, abrangendo uma área estratégica de elevada densidade populacional. Essa bacia foi selecionada como objeto de estudo neste trabalho devido à sua relevância ecológica e socioambiental, bem como à necessidade de compreender os impactos ambientais gerados pelo processo de urbanização e subsidiar ações efetivas de gestão e preservação dos recursos hídricos.

O Ribeirão Lindóia é classificado como corpo de água de Classe III, conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (2017) baseado na Resolução CONAMA nº 357/2005. Essa classificação impõe restrições ao seu uso, permitindo o abastecimento doméstico apenas após tratamento convencional ou avançado, além de usos como recreação de contato secundário e irrigação de culturas arbóreas. A bacia apresenta um regime hídrico influenciado tanto por afluentes naturais quanto por descargas urbanas, o que afeta diretamente sua qualidade ambiental. Estudo recente identificou a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* acima dos limites legais (URATA, 2024), indicando contaminação fecal, além de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos ao longo do ribeirão. Ademais, a ocupação desordenada do solo ao longo do curso d'água tem contribuído para processos de assoreamento, degradação da vegetação ripária e aumento da carga de poluentes orgânicos e inorgânicos, reforçando a importância do monitoramento e da implementação de medidas mitigadoras para garantir a sustentabilidade da bacia e a manutenção dos seus serviços ecossistêmicos.

Revisão sistemática da literatura

A pesquisa desenvolvida teve como foco identificar e analisar pesquisas ambientais realizadas na área de estudo selecionada a partir de uma revisão sistemática da literatura orientada pela pergunta: "Quais são os estudos realizados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia que abordam questões ambientais?" Com base nessa questão norteadora, foram formuladas as seguintes subquestões: "i) Quais estudos abordam a qualidade hídrica da bacia? ii) Que impactos ambientais são relatados nas publicações? iii) Como o uso e a ocupação do solo são tratados nos estudos existentes?" Para obter as respostas a estas questões foram aplicadas as metodologias de Análise Bibliométrica (Araújo, 2006) e de Análise de Conteúdo (Bardin, 1977), possibilitando a investigação dos indicadores de produção científica, da relevância dos artigos e dos temas mais recorrentes.

A pesquisa foi realizada a partir do Google Acadêmico, utilizando combinações estratégicas de palavras-chave com operadores booleanos para ampliar o alcance dos resultados. Foram considerados apenas documentos publicados até o ano de 2023, data de corte estabelecida para garantir a consistência e o fechamento da revisão. As palavras-chave empregadas incluíram: "bacia hidrográfica", "Ribeirão", "Lindóia", "qualidade da água", "microbiológica", "impacto ambiental" e "ocupação do solo", aplicadas em diferentes combinações com o operador AND e o uso do coringa * para abranger variações terminológicas. Os dados obtidos foram exportados para o software JabRef, o que permitiu a remoção de duplicidades e a organização das informações em planilhas Excel para posterior identificação e classificação dos trabalhos em artigos e demais documentos acadêmicos, como trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, resumos e relatórios técnicos classificados como trabalhos acadêmicos.

O procedimento metodológico seguiu um fluxo organizado detalhado na Figura 1 que ilustra o fluxo completo desde a coleta até a análise final dos dados. Este processo assegura que apenas os trabalhos mais relevantes sejam considerados, proporcionando uma base sólida para as conclusões da pesquisa.

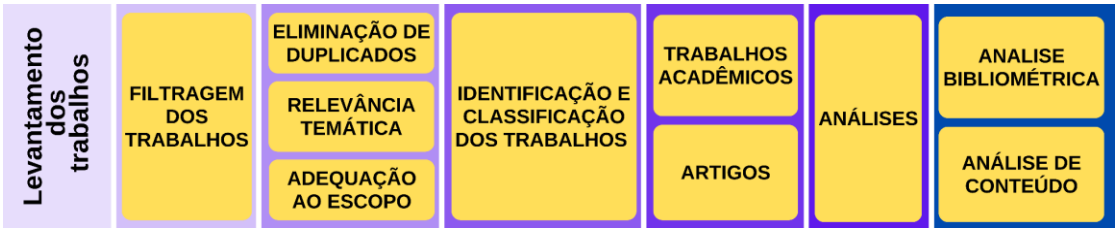


Figura 1: Procedimentos metodológicos da análise sistemática da literatura

Para a análise dos documentos selecionados, foram adotadas duas abordagens complementares. A Análise Bibliométrica (Araújo, 2006) permitiu quantificar aspectos da produção científica, como a distribuição temporal das publicações, saber como está a disseminação do conhecimento científico, qual sua influência e impacto, além de detalhar a frequência de palavras nos títulos e a rede de colaboração entre autores. A análise de conteúdo (Bardin, 1977) destaca-se por ser uma abordagem qualitativa. Este método envolve uma leitura cuidadosa do material, seguida da identificação e categorização por classes, ou seja, classificação do conteúdo de acordo com alguns critérios específicos que foram determinados com a leitura dos trabalhos, posteriormente tratados e analisados visou-se interpretar e avaliar o que foi expresso durante a investigação construindo e apresentando conceitos relacionados ao objetivo de estudo , as etapas para a análise de conteúdo foram: pré-análise, exploração do material, codificação e categorização e tratamento dos resultados.

Resultados e discussões

O levantamento inicial dos trabalhos resultou em 234 arquivos, sendo 87 artigos publicados em periódicos e 147 trabalhos acadêmicos (capítulos de livro, resumos, TCCs, dissertações e teses). A partir da revisão sistemática, foi possível identificar os estudos com foco na avaliação da qualidade da água, aspectos físicos, químicos e biológicos, bem como nos impactos ambientais e na ocupação do solo. Este levantamento permitiu mapear pesquisas que analisam diretamente as condições ambientais e ecológicas da bacia, sob diferentes perspectivas temáticas.

Na etapa de filtragem, foram selecionados os documentos mais relevantes com base no tema e na qualidade dos estudos, como mostrado no quadro 1. Após esse processo, o número de trabalhos foi reduzido para 42, dos quais 14 foram classificados como artigos e 28 correspondem a trabalhos acadêmicos, como dissertações, teses, TCCs e outros. Esses documentos foram submetidos à leitura e análise detalhada, assegurando uma compreensão ampla e precisa sobre o estado atual das pesquisas relacionadas à Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia.

Quadro 1: Total de trabalhos após processo de Levantamento, Filtragem e Análise

	Artigos	**Trabalhos acadêmicos**
Levantamento dos trabalhos	Referências identificadas: **87**, sendo: • Artigo de periódico: **72** • Artigo de conferência: **15**	Referências identificadas: **147**, sendo: • Capítulo de livro: **6** • Resumo expandido: **15** • Resumo técnico: **1** • TCC: **68** • Dissertação de mestrado: **50** • Tese de doutorado: **7**
Filtragem	Excluídas: **73**, sendo: • Duplicados: **37** • Local de estudo: **22** • Tema: **14**	Excluídas: 119, sendo: • Duplicados: **34** • Local de estudo: **40** • Tema: **45**
Análise e Classificação	Selecionados: **14**, sendo: • Artigo de periódico: **13** • Artigo de conferência: **1**	Selecionados: **28** sendo: • Capítulo de livro: **2** • Resumo expandido: **2** • Resumo técnico: **1** • TCC: **14** • Dissertação de mestrado: **7** • Tese de doutorado: **2**

Fonte: Elaborado pelos autores

Análise bibliométrica

Ao realizar a análise temporal apresentada na Figura 2, evidencia-se a distribuição de pesquisas ao longo dos anos. O ano com maior produção científica foi 2013 com seis documentos, três trabalhos de conclusão de curso, dois artigos de periódicos e um artigo de conferência. Na sequência, os anos de 2015 e 2023 também se destacam por sua produção científica, totalizando nove documentos nesses dois períodos (quatro em 2015 e cinco em 2023).

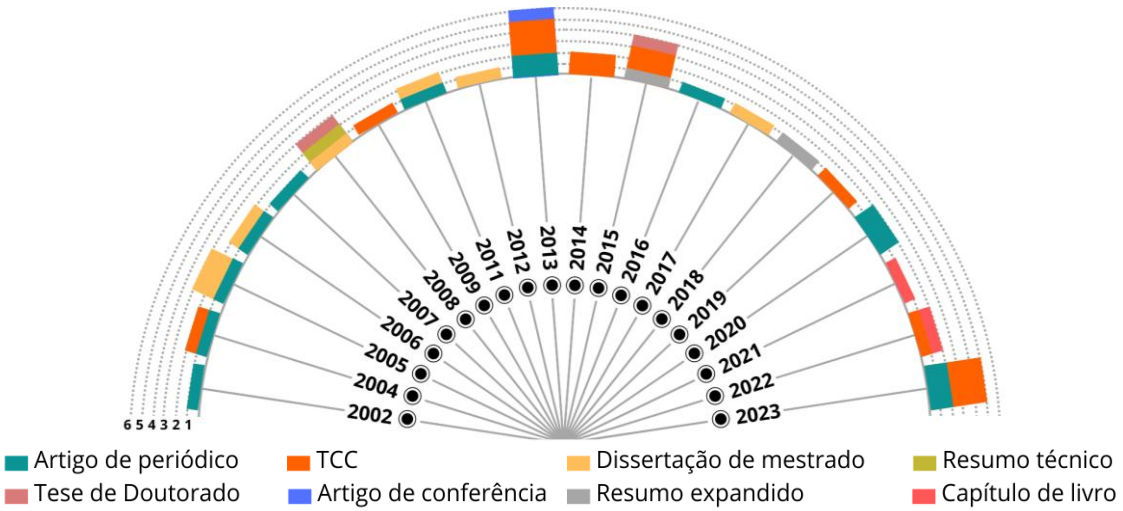


Figura 2: Análise temporal dos estudos filtrados.

Do total de publicações, cerca de 50 % correspondem a trabalhos de conclusão de curso com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), possuindo 35,7 % dessa fração (dez trabalhos), e a Universidade Estadual de Londrina (UEL), com 14,3 % (quatro trabalhos). As dissertações de mestrado correspondem a 25 % das publicações e as teses de doutorado 7,1 %. Os 17,9 % restantes enquadram-se em outras categorias, como capítulos de livro, resumos expandidos e relatórios técnicos.

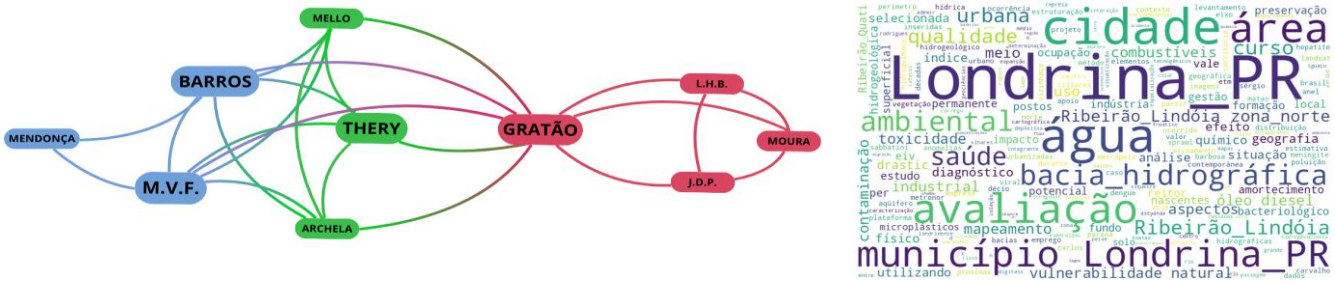
Entre os artigos publicados, alguns se destacam pela relevância, recorrência nas citações e contribuição temática. O artigo de Limberger & Corrêa (2005), intitulado “Diagnóstico Ambiental do Ribeirão Lindóia (Londrina-PR): aspectos físico-químicos

e bacteriológico", publicado na Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas, reconhecido por sua influência na literatura científica, refletida no número de citações e no seu papel como referência para estudos subsequentes sobre a Bacia do Ribeirão Lindóia. Outros estudos relevantes também compõem o conjunto analisado. Mendonça & Barros (2002) realizaram o mapeamento da vegetação de fundo de vale em áreas urbanas, contribuindo para o entendimento das alterações da cobertura vegetal. Shiraishi & Souza (2020) investigaram contaminações oriundas de postos de combustíveis, associando fontes pontuais de poluição à qualidade ambiental. No campo das abordagens simbólicas e culturais, Gratão & Moura (2020) discutem as representações sociais dos cursos d'água urbanos. Já Terra et al. (2015) e Pinese & Araújo (2009) analisaram, sob diferentes perspectivas, os riscos microbiológicos e sua relação com a saúde pública. Essa diversidade de temas permitiu uma categorização ampla durante a análise de conteúdo.

A revista que mais se sobressai dentre as publicações filtradas é a que consta publicações na área de estudos hidrogeológicos "Águas Subterrâneas" com três publicações contribuindo com trabalhos sobre geografia, física e estudos ambientais.

Na Figura 3 pode-se visualizar a rede de coautoria e a nuvem de palavras construídas a partir da análise das publicações.

Com o auxílio do software Vosviewer, foi possível mapear as redes de interações entre os autores (Figura 3a). A rede de coautoria identificou três clusters (grupos) identificados pelas cores, Azul, Verde e Vermelho. O Cluster Azul formado por Barros, M.V.F. e Mendonça, concentra uma produção científica mais tradicional com foco em estudos limnológicos e diagnósticos ambientais. O Cluster verde, composto por Thery, Mello e Archela traz uma ênfase nos métodos de geociência e planejamento urbano. Já o cluster vermelho, integrado por Gratão, Moura e Pinese, apresenta uma abordagem interdisciplinar, mais voltada para o aspecto simbólico e cultural dos cursos d'água. Um elo importante entre os clusters é o trabalho em conjunto "Curso e (per)curso das águas" (2008), que reúne autores de todos os grupos e representa um ponto de convergência entre diferentes abordagens sobre a Bacia do Ribeirão Lindóia.



(a) (b)

Figura 3: (a) Correlação de autores com trabalhos publicados, (b) nuvem de palavras relacionados a bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia.

Para a criação de uma nuvem de palavras (Figura 3b), ocorreu a extração das palavras presentes nos títulos dos documentos, os quais foram organizados e agrupados graficamente conforme sua frequência de ocorrência. Embora a disposição das palavras na nuvem seja aleatória, as palavras mais frequentes aparecem em um tamanho maior destacando-se das demais. Segundo Kami et al. (2016), esse método de visualização permite evidenciar quais termos são mais proeminentes nos títulos analisados, facilitando a identificação dos focos temáticos.

Na nuvem gerada, observou-se a predominância de termos como "Londrina", "Ribeirão Lindóia", "município", "qualidade", "água", "ambiental", "zona norte" e "bacia hidrográfica". Esses resultados indicam uma forte ênfase nos aspectos espaciais e geográficos dos estudos, além da recorrência de temas voltados à qualidade hídrica e impactos ambientais. Por outro lado, termos diretamente ligados à saúde pública ou microbiologia aparecem com menor destaque, o que pode evidenciar lacunas temáticas ou abordagens ainda pouco exploradas. A análise sugere que os estudos existentes priorizam a caracterização físico-química e territorial da bacia, reforçando a relevância de trabalhos que integrem diferentes dimensões, como saúde e percepção social.

Análise de conteúdo

A partir da análise de conteúdo das publicações, conforme a metodologia proposta por Bardin (1977), foi possível identificar seis categorias temáticas: 'Qualidade da água', 'Impactos ambientais', 'Planejamento urbano', 'Saúde pública', 'Uso e ocupação do solo' e 'Outros', conforme apresentado no Quadro 2.

A primeira "Qualidade da água" envolve pesquisas que tiveram como objetivo levantar e investigar os parâmetros limnológicos, geralmente associados a diagnósticos ambientais. Em seguida, "impactos ambientais" que inclui pesquisas voltadas à contaminação do solo, degradação das margens e poluição hídrica. Em "planejamento urbano" contempla estudos com uso de geotecnologias e propostas de manejo ambiental. Por sua vez, "saúde pública" apareceu em menor escala, mas com relevância, abordando relações entre qualidade hídrica e indicadores sanitários. Quanto a "uso e ocupação do solo" abrange estudos sobre o avanço da urbanização, desmatamento e alteração das áreas de preservação, refletindo preocupações com a gestão territorial da bacia. Por fim, a categoria "outros" agrupa estudos interdisciplinares, com enfoque simbólico ou cultural, e também pesquisas exploratórias sem recorte temático definido.

Quadro 2: Categorização temática dos artigos e trabalhos acadêmicos selecionados

Categoria	Quantidade	Referências
Qualidade da Água	14	Ghiraldi (2023); Pestana (2023); Urata (2023); Morais e Machado (2021); Anjos (2015); Ross (2013); Jacobs (2013); Moretti (2013); Barros et al. (2008); Santos et al. (2006); Limberger e Corrêa (2005); Iurk (2005); Santos (2005); Santos, Kiang e Celligoi (2004).
Impactos Ambientais	11	Carneiro e Barbosa (2023); Davi (2022); Shiraishi e Souza (2020); Maeda e Batista (2020); Silva (2017); Arruda (2015); Machado (2014); Costa (2014); Giorgi Dal Pont (2012); Celligoi; Kiang e Santos (2007); Siqueira (2003).
Planejamento Urbano	8	Mansour e Pinheiro (2023); Arôxa e Veiga (2020); Melo, Machado e Camargo (2018); Riujim e Cunha (2016); Ota e Moraes Souza (2011); Rosolém (2011); Maeda (2008); Bezzon (2008).
Saúde Pública	4	Terra et al. (2015); Araujo e Peccinini Pinese (2013); Pinese e Araujo (2009); Araújo (2006).
Uso e Ocupação do Solo	4	Jurkevicz (2015); Pantaleão (2013); Silva (2009); Mendonça e Barros (2002).
Outros	1	Gratão e Moura (2020).

Legenda: As referências selecionadas e analisadas estão disponíveis em https://zenodo.org/records/15554914
Fonte: Elaborado pelos autores

Considerações Finais

A revisão sistemática permitiu reunir, classificar e interpretar as principais pesquisas ambientais realizadas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia, em Londrina-PR, até 2023. As análises bibliométrica e de conteúdo evidenciaram a evolução da produção científica, com destaque para o ano de 2013 e para instituições como a UTFPR e a UEL, que se consolidam como referências nos estudos sobre a região.

As publicações analisadas concentram-se em temas como qualidade da água, impactos ambientais e uso e ocupação do solo, refletindo preocupações recorrentes com a degradação dos recursos hídricos urbanos. As categorias temáticas identificadas demonstram abordagens diversas, incluindo aspectos microbiológicos, geográficos, culturais e de saúde pública.

Os resultados indicam a necessidade de maior articulação entre os temas pesquisados e apontam oportunidades para aprofundar estudos voltados à gestão integrada, políticas públicas e monitoramento contínuo. A sistematização realizada oferece subsídios relevantes para o planejamento ambiental e reforça a importância da bacia como objeto de investigação científica. Espera-se que os achados orientem futuras pesquisas e contribuam para ações de preservação e recuperação dos recursos hídricos da região.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em Questão, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/16. Acesso em: 30 jul. 2024.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. Gestão E Sociedade, v. 5, n. 11, p. 121–136, 2011. https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220

BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 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. Brasília, 2005.

GALATOWITSCH, Susan M. Ecological Restoration. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2012. 630 p. ISBN 978-0-87893-607-6.

INGRAM, L.; Hussey, J.; Tigani, M.; Hemmelgarn, M. Writing a literature review and using a synthesis matrix. North Carolina State University Writing and Speaking Tutorial Services, 2006.

LIMBERGER, Leila; CORRÊA, Geraldo Terceiro. Diagnóstico ambiental do Ribeirão Lindóia (Londrina-PR): aspectos físico-químico e bacteriológico. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas, v. 2, n. 2, p. 43-66, setembro 2005.

OLIVEIRA, E. M. de. Análise físico-química da água em escolas públicas do município de Sousa-PB. Trabalho de Conclusão de Curso—[s.l.] Instituto Federal da Paraíba, 2023.

PIACENZA, Larissa Baptistuci. Influência da precipitação pluviométrica para as estruturas limnológica e microbiológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

Prefeitura Municipal de Londrina. (s.d.). Sistema de Informação Geográfica de Londrina (SIGLON). Disponível em: https://geo.londrina.pr.gov.br/

RUIZ, K. S., et al. BASE DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ANALISADAS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LINDÓIA (LONDRINA-PR). Zenodo, 30 de Maio de 2025, doi:10.5281/zenodo.15554914.

SANTOS, Maurício Moreira dos; CAETANO-CHANG, Maria Rita; KIANG, Chang Hung; CELLIGOI, André. Avaliação da vulnerabilidade natural à poluição utilizando o índice DRASTIC em área selecionada na cidade de Londrina (PR). Águas Subterrâneas, v. 20, n. 1, p. 29-46, 2006.

SILVA, Edmiler José da. A formação de depósitos tecnogênicos entre o médio-baixo curso do Ribeirão Quati - Londrina - PR. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2017.

SILVA, Fabio Leandro da; FUSHITA, Ângela Terumi; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da; BIANCHINI JÚNIOR, Irineu; VENEZIANI JÚNIOR, José Carlos Toledo. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021. ISSN 1984-2295.

SILVA, T. T.; MEDEIROS, G.; AMARAL, M. W. W.; PILATTI, M. C.; BORTOLINI, J. C.; BUENO, N. C. Taxonomic and morphofunctional phytoplankton response to environmental variability in rivers from different hydrographic basins in Southern Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, 34, e23, 2022. https://doi.org/10.1590/S2179-975X1222

SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos). Atlas Esgoto. Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal: Londrina. 2017. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlas_esgoto/Paraná/Relatorio_Geral/Londrina.pdf. Acesso em: 05 fev. 2025.

URATA, Stephanie Luana. Pressão urbana em água superficial do ribeirão Lindóia: qualidade, toxicidade e contaminação por microplásticos. 2023. 105 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2023.

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DA BARRAGEM MÃE D´ÁGUA, PORTO ALEGRE/RS

1Maria Cristina de Almeida Silva, 2Maria Teresa Camelo de Jesus Guedes, 3Mateus Ricardo Mendes Pessota, 4Gabriel Perozzo Gajardo, 5Louidi Lauer Albornoz, 6Bridia Belloli Bellora Moni, 7Ivanir Medeiro de Avila

1 UFRGS, e-mail: maria.almeida@ufrgs.br; 2 UFRGS, e-mail: mteresag1308@gmail.com; 3 UFRGS, e-mail: mateus.pessota@ufrgs.br; 4 UFRGS, e-mail: gabrielperozzogajardo@gmail.com; 5 UFRGS, e-mail: louidi.lauer@ufrgs.br; 6 UFRGS, e-mail: bridiabellora@gmail.com; 7 UFRGS e-mail: ivaniravila@gmail.com

Palavras-chave: índice de estado trófico; fósforo total; qualidade de água

Introdução

A eutrofização é um fenômeno que pode se desenvolver em reservatórios, decorrente de processo natural ou de intervenção humana, devido ao aumento da quantidade de nutrientes no corpo hídrico. Este processo é determinante para a qualidade de água, pois provoca elevado crescimento de organismos aquáticos autotróficos (algas, cianobactérias planctônicas e macrófitas aquáticas) (ARAÚJO; MENDONÇA e REIS, 2018).

A eutrofização é um processo complexo, possuindo consequências múltiplas, pois a deterioração da qualidade da água tem implicações nas esferas ambiental, econômica e de saúde pública (FERREIRA et al., 2023). Considerando a normativa de qualidade da água superficial e seus usos preponderantes, os limites orientadores devem ser considerados de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que estabelece valores máximos de clorofila, cianobactérias e nutrientes, nitrogênio e fósforo, conforme a classe do manancial. A Tabela 1 apresenta os valores máximos relacionados ao parâmetro fósforo total, estabelecidos na referida Resolução.

Tabela 1 - Valores máximos de fósforo total para as classes de qualidade de águas superficiais, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

Fósforo total (mg/L)	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Ambiente lêntico	0,020	0,030	0,05
Ambiente intermediário*	0,025	0,050	0,075
Ambiente lótico	0,1	0,1	0,15

*ambiente intermediário com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Fonte: Elaborado pelos autores

A realização de estudos de avaliação trófica em sistemas aquáticos tem como relevância a identificação e a indicação dos processos de eutrofização, bem como a busca por propostas de soluções que viabilizem o aumento da vida útil desses ecossistemas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Neste contexto, o Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento do crescimento de macrófitas aquáticas (CETESB, 2013).

Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo total, IET(Pt), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo (CETESB, 2013). Os resultados obtidos podem fornecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos (LAMPARELLI, 2004). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o IET da Barragem Mãe d´Água, localizada no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Metodologia

A área estudada encontra-se no território do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na divisa entre os municípios de Viamão e Porto Alegre (Figura 1). A Barragem Mãe d'Água compõe a Bacia Hidrográfica Mãe d'Água, a qual é um dos afluentes do Arroio Dilúvio.

O monitoramento do parâmetro fósforo total foi realizado em um ponto de análise na própria Barragem (ponto 4 – P4 – Figura 2), no período de dezembro/2023 a dezembro/2024, mensalmente. Ressalta-se que devido às enchentes que ocorreram no Estado do Rio Grande do Sul em 2024, não foram realizadas coletas e análises nos meses de abril e maio, e o monitoramento ambiental foi retomado apenas em junho de 2024.

O ponto amostrado localiza-se no vertedouro da barragem, ou seja, é a água da barragem após serem incorporadas todas contribuições de poluição, sendo direcionado ao Arroio Dilúvio. As coordenadas do ponto amostrado são 30°04'28,39"S e 51°07'07,73"O. O parâmetro fósforo total foi determinado em laboratório, utilizando metodologia 4500-P E, descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).



Figura 1: Ponto selecionado para monitoramento do fósforo total (Pt) na Barragem Mãe d´Água.

O Índice do Estado Trófico para o fósforo total para reservatórios, calculado no presente trabalho, está apresentado na Equação (1), e o resultados interpretados conforme Tabela 2, com os valores apresentados na coluna referente ao fósforo total (Pt), que está destacada (LAMPARELLI, 2004; CETESB, 2013).

$$IET\ (Pt) = 10 \times (6 - (1{,}77 - 0{,}42 \times \frac{ln(Pt)}{ln(2)}) \quad (1)$$

Tabela 2 - Classificação do Estado Trófico, modificado por Lamparelli (2004), para reservatórios, considerando o parâmetro fósforo total

Classificação do Estado Trófico - Reservatórios				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi – S (m)	P-total – P (mg.m^{-3})	Clorofila *a* (mg.m^{-3})
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

Fonte: CETESB (2013)

Resultados e discussão

Os resultados de fósforo total avaliados, bem como o IET calculado de acordo com a Equação 1, estão apresentados na Tabela 3. Destaca-se que ao longo do ano avaliado, todos os resultados indicaram condição mesotrófica.

Tabela 3 - Resultados de fósforo total e IET medidos no P4 da Barragem Mãe d´Água

Data da análise	Fósforo total (mg / L)	IET (Pt) P4	
06/10/2023	3,6	50,1	Mesotrófico
12/01/2024	1,6	45,1	Mesotrófico
16/02/2024	2,4	47,6	Mesotrófico
26/03/2024	2,7	48,3	Mesotrófico
10/06/2024	1,6	45,0	Mesotrófico
01/08/2024	0,8	40,9	Mesotrófico
03/09/2024	1,0	42,5	Mesotrófico
09/10/2024	0,7	40,5	Mesotrófico
07/11/2024	1,0	42,4	Mesotrófico
10/12/2024	0,3	35,9	Mesotrófico

Fonte: Elaborado pelos autores

A maior concentração de fósforo total verificada foi de 3,6 mg/L, em dezembro de 2023, e a menor de 0,3 mg/L. A Barragem é um ambiente lêntico e, quando avaliados os valores conforme padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA

357/2005, verifica-se que estão acima do que foi recomendado para enquadramento em classe 3. De acordo com ANA (2025), mananciais mesotróficos possuem produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

Dentre as problemáticas da região de estudo, destacam-se o aporte de resíduos sólidos e de efluentes domésticos, que podem ter contribuído para os elevados valores de fósforo total encontrados durante todo o período do estudo. O atendimento deficitário de serviços de saneamento básico nesse local é a principal causa desses problemas ambientais e, como consequência de um processo de urbanização que não foi acompanhado de um planejamento adequado (GUEDES et al., 2024).

Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha et al. (2022), que avaliaram os reservatórios de Sobradinho e de Itaparica, localizados na bacia hidrográfica do rio São Francisco, em período seco e úmido, durante operação com vazão reduzida. Em todos os pontos e períodos avaliados, verificou-se condição mesotrófica, em ambos os reservatórios.

Sabe-se que períodos chuvosos podem influenciar tanto na diluição quanto no aumento da concentração de poluentes nos corpos hídricos, de acordo com as características da bacia hidrográfica e de seu estado de preservação/ocupação (ROCHA et al., 2022). Contudo, este efeito não foi observado no cálculo do IET da Barragem Mãe d´Água, já que a avaliação anual realizada apresentou a mesma classificação, independente da condição climática.

Conclusões

Os resultados das análises de monitoramento do parâmetro fósforo total mostraram concentrações acima das recomendadas para o enquadramento de mananciais lênticos classe 3. Já o IET calculado, em todo o período do estudo, indica que a Barragem está classificada como mesotrófica, indicando produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis.

Com base nos resultados apresentados, ressalta-se a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água da Barragem Mãe d´Água. Além disso, é importante o desenvolvimento de estratégias eficazes para proteção desse recurso.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Os autores agradecem ao Fundo Centenário da UFRGS pelo auxílio financeiro e apoio recebido até o presente momento.

Referências Bibliográficas

ANA – Agência Nacional de Águas (2025). **Portal da qualidade das águas – Indicadores de qualidade – Índice do Estado Trófico (IET)**. Disponível em https://www.ana.gov.br/portalpnqa/indicadores-estado-trofico.aspx, acesso em 28 de março de 2025.

ARAÚJO, D. R., MENDONÇA, A. S. F., REIS, J. A. T. D. (2018). **Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 23(01), 55-62.

APHA. **American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association,2017.

CETESB (2013). **Índice do Estado Trófico**. Governo de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. Disponível em https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf, acesso em 28 de março de 2025.

GUEDES, M. T. D. J. C. et al. (2024). **Evaluation of the temporal evolution of the water quality of the Mãe d'Água Dam**. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, 9(3), 346-354.

FERREIRA, L. K. R., FREITAS, L. M. C., LIMA, G. R. R., DE ARAÚJO, A. L., DA SILVA, F. J. A. (2023). **Uma análise quantitativa sobre o estado trófico em reservatórios no Ceará, semiárido brasileiro**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, 971-986.

LAMPARELLI, M.C. (2004) **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROCHA, P. E. et al. (2022). **Avaliação do índice de estado trófico dos reservatórios de Sobradinho e Itaparica**. XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SILUSBA). 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua portuguesa.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (2008) **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos.

INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA/PR

1Rebeka Aparecida Almeida dos Santos, 2Leandro Redin Vestena
1Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), e-mail: rebx1997@gmail.com;
2Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), e-mail: lvestena@gmail.com

Palavras-chave: Gestão de bacia hidrográfica; água superficial; efluentes e contaminantes.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar preliminarmente a qualidade da água do rio das Pedras utilizando os indicadores de qualidade da água Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Turbidez e *Escherichia coli* coletados no ano de 2018, na estação de captação de água superficial da Sanepar na bacia do rio das Pedras, manancial de abastecimento humano para Guarapuava, Paraná. Fez-se a correlação desses parâmetros com o mapeamento de uso e cobertura da terra, referente ao mesmo ano, a fim de identificar potenciais influências (negativas e/ou favoráveis) na qualidade da água nessa área. Considerou-se que a alta porcentagem de áreas de mata, além de áreas preservadas nas APPs e na APA Serra da Esperança parecem contribuir positivamente para os parâmetros analisados. Em contrapartida, atividades como agricultura mecanizada e comercial, criação de gado e urbanização são potenciais fontes de efluentes e de contaminação, o que é sugerido pelos elevados índices de Fósforo, Turbidez e *Escherichia coli*. Considera-se que medidas de controle e fiscalização ambiental, como o monitoramento do lançamento de efluentes e a proteção efetiva das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Áreas de Proteção Ambiental (APAs), podem contribuir para preservar a função de filtração efluentes, contaminantes e sedimentos dessas vegetações e contribuir para a qualidade da água.

Introdução

A qualidade da água superficial está diretamente relacionada à forma como o espaço é apropriado e explorado. Ela é uma consequência direta do manejo e do tipo de uso e ocupação da terra em uma bacia hidrográfica (Sperling, 1996; Vestena et al. 2004; Mello et al., 2020; Silva et al., 2020). Nesse contexto, a bacia hidrográfica é conceituada como uma compartimentação geográfica natural delimitada por pontos mais altos do relevo (divisores de água), onde a água, sedimentos e materiais dissolvidos são drenados superficialmente para uma saída comum (Guerra e Cunha, 1995; Santana, 2003). De acordo com Vestena (2016), adotar a bacia hidrográfica como recorte espacial de estudo facilita o entendimento e a compreensão dos processos hidrológicos, do fluxo de matéria e de nutrientes, uma vez que eles ocorrem de forma integrada como um sistema. Compreender a dinâmica de uso da terra em uma bacia hidrográfica torna-se, assim, fundamental para identificar os potenciais agentes influenciadores da qualidade da água e que podem estar ocasionando o transporte de efluentes, contaminantes e sedimentos nos cursos d'água.

O planejamento e o manejo ambiental de bacias hidrográficas devem, portanto, visar a ocupação integrada e racional do espaço rural e urbano, mantendo o equilíbrio dos processos hidrológicos e da diversidade biológica. Dentro desse enfoque da bacia do rio das Pedras, o espaço rural assume relevância não só na produção de alimentos e fibras, mas também como "produtor" de água em quantidade e qualidade satisfatórias, para múltiplos usos (Santana, 2003; Vestena, 2016).

Impulsionadas pela crescente demanda por bens como alimentos, fibras, água e abrigo, as ações humanas promovem mudanças no uso e cobertura da terra, que ocasionam problemas ambientais. A expansão da agricultura intensiva, por exemplo, é uma fonte significativa de poluição do solo e da água por agrotóxicos, metais pesados, nitrogênio, fósforo e coliformes fecais, além de causar perda de biodiversidade, erosão do solo e decréscimo no estoque de carbono (Santos e Kobiyama, 2003; De Oliveira-Filho e Lima, 2002; Sidorchuk e Golosov, 2003; Navar et al., 2010; Batlle-Bayer, 2010; Vieira et al., 2008; Vestena e Thomaz, 2006; Leal et al., 2018; Francisco et al., 2019; Kumi et al., 2021; Pessoa et al., 2020; Polidoro et al., 2020). Similarmente, a criação de animais contribui com a poluição do solo e da água (coliformes fecais, antibióticos, agroquímicos, metais pesados) e erosão do solo devido ao pisoteio (Santos e Kobiyama, 2003; Teodoro e Santos, 2009; De La Torre et al., 2012; Mascarello e Camargo Filho, 2006; Stavi et al., 2016; Pilon et al., 2017). A urbanização é associada à poluição do solo, da água e do ar, decréscimo no estoque de carbono, compactação do solo, fragmentação florestal e perda de biodiversidade (Brilly et al., 2006; Luo et al., 2012; Francisco et al., 2019; Ren et al., 2012; Tao et al., 2014; Wang et al., 2020; Olson et al., 2013; Upgupta et al., 2017; Awotwi et al., 2018; Pessoa et al., 2020; Foley et al., 2005). Atividades de mineração e industriais causam poluição da água, do solo e do ar, também levam à perda de biodiversidade e fragmentação florestal, e contribuem para a erosão e compactação do solo. As atividades de extração florestal impactam através do descarte inadequado de resíduos sólidos e efluentes, erosão e compactação do solo, além de significativa perda de biodiversidade (Pezzoni Filho et al., 2014; Silva et al., 1995; Antoneli, 2019; Locks et al., 2019; França et al., 2017).

De maneira geral, a utilização da terra sem manejo adequado gera impactos ambientais significativos, destacando-se a deterioração do solo e a poluição da água. Essa dinâmica compromete diretamente a qualidade dos recursos hídricos e a saúde ambiental das bacias hidrográficas.

Além de compreender a dinâmica de uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas, a gestão dos recursos hídricos é crucial. Ela exige o monitoramento e a fiscalização da qualidade da água para garantir o cumprimento das normas e padrões, conforme estabelecido pela legislação brasileira, como a Lei nº 9.433/97 e a Resolução CONAMA nº 357/2005, as quais determinam o enquadramento dos corpos d'água com base em seus usos pretendidos, estabelecendo metas de qualidade a serem alcançadas ou mantidas. Portanto, essa estrutura legal e de classificação é essencial para a gestão da qualidade da água.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar os indicadores de qualidade da água Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Turbidez e Escherichia coli coletados próximos a estação de captação da água para abastecimento humano do Rio das Pedras, em Guarapuava/PR, e disponibilizados pelo Instituto Água e Terra no ano de 2018. A pesquisa buscará relacionar esses parâmetros de qualidade da água com as classes de uso e cobertura da terra da bacia, utilizando o mapeamento do mesmo ano para discutir a influência de cada tipo de uso nos indicadores observados e os potenciais influências na qualidade da água que chega à captação.

Materiais e métodos

A bacia do Rio das Pedras, manancial de abastecimento de Guarapuava-PR, abrange uma área de 330,42 km². Está localizada entre as coordenadas 25°17’55” S 51°16’10” O e 25°28’0” S 51°26’15” O (Figura 1). O ponto de coleta da amostra de água para análise situa-se nas coordenadas 25°24'0.33"S e 51°26'9.50"O, na estação de captação de água superficial da Sanepar empresa responsável pela prestação de serviços de saneamento básico no município.

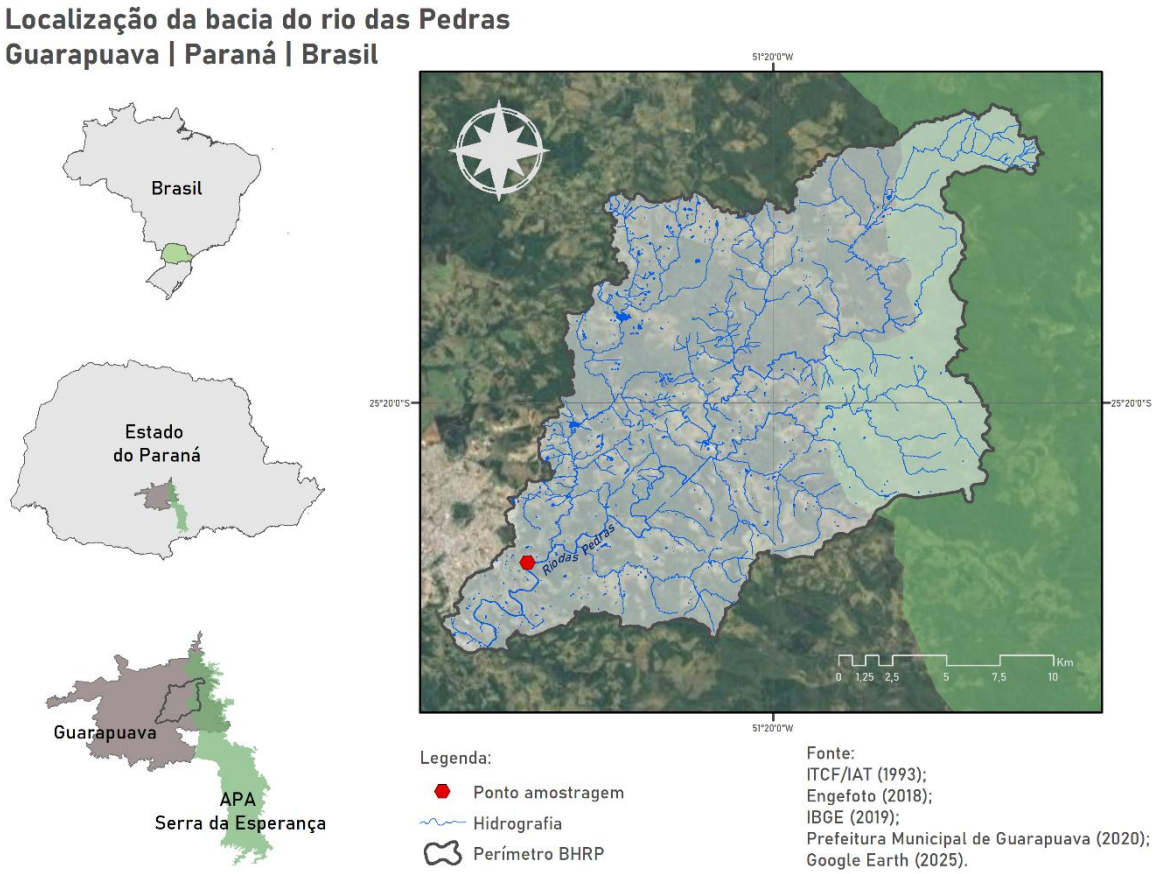


Figura 1: Localização da bacia do Rio das Pedras e do ponto de coleta das amostras de água. Organização: Autores, 2025.

Para este estudo, dados cartográficos e de uso do solo da Bacia do Rio das Pedras e região foram obtidos e utilizados, todos integrados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). As bases incluíram a hidrografia e o perímetro da bacia (ENGEFOTO, 2018; GUARAPUAVA, 2020), o perímetro da APA Serra da Esperança (ITCF/IAT, 1993), e a divisão político-administrativa do município de Guarapuava, Paraná, Brasil (IBGE, 2019). O mapeamento de uso e cobertura do solo de 2018 foi obtido através de ortofotografias e perfilamento a laser da ENGEFOTO (GUARAPUAVA, 2020).

Os dados dos indicadores de qualidade da água Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Turbidez e *Escherichia coli.* referentes ao ano de 2018, que foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essas informações, que correspondem às tabelas de indicadores de qualidade da água, são fornecidas pelas entidades que operam redes de monitoramento nas Unidades da Federação (UFs), especificamente para o Paraná, as amostras foram coletadas pelo Instituto Água e Terra (IAT) e Águas Paraná. Para os indicadores de qualidade da água, cada parâmetro é representado pela média estatística anual de amostras coletadas durante o ano de 2018.

Resultados e discussão

A avaliação do uso e cobertura da terra integrada aos indicadores de qualidade da água na bacia do Rio das Pedras em 2018 permitiu identificar padrões e potenciais influências das atividades antrópicas e da cobertura vegetal sobre a qualidade da água do rio das Pedras.

O uso e cobertura da terra na bacia, referentes ao ano de 2018, estão representados na Figura 2 e na Tabela 1.

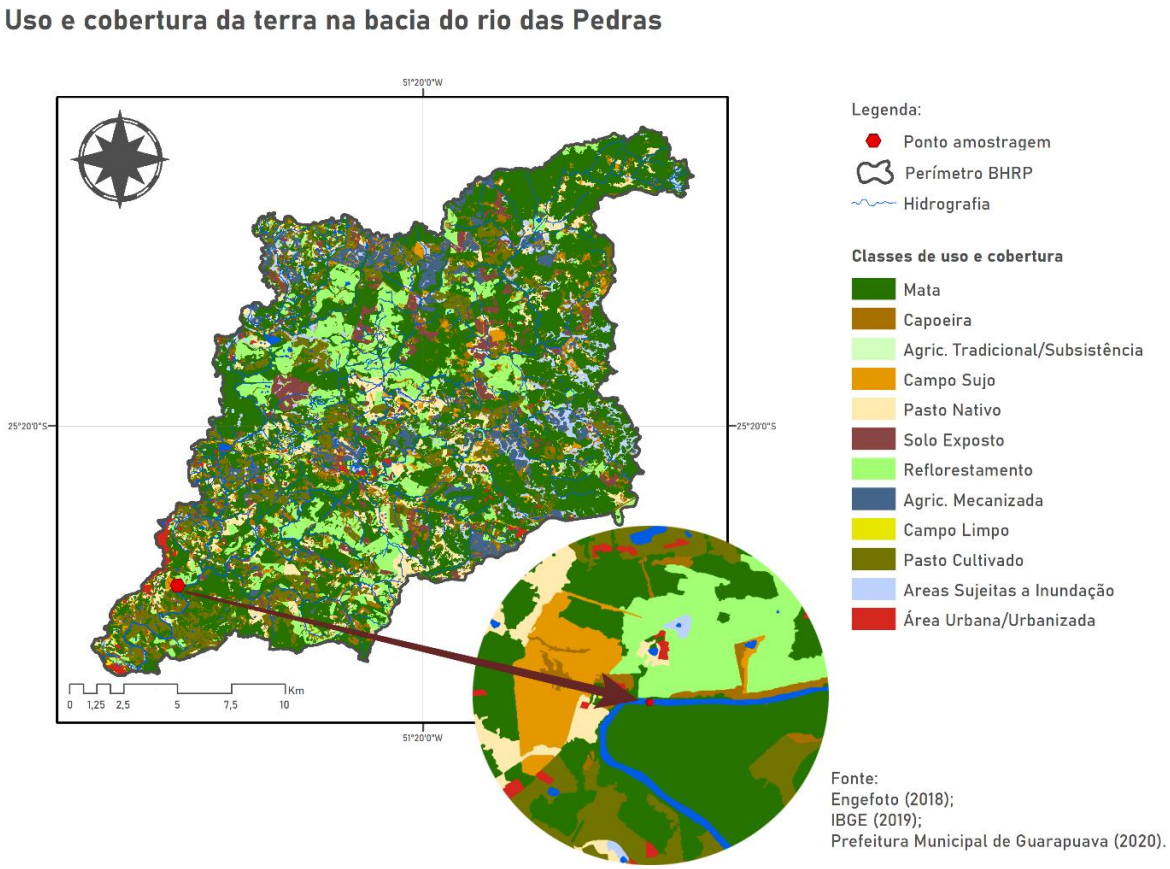


Figura 2: Uso e cobertura da terra na bacia do rio das Pedras em 2018, com destaque para a área do ponto de coleta e amostragem da água. Organização: Autores, 2025.

Tabela 1 – Uso e cobertura da terra na bacia do rio das Pedras no ano de 2018.

Tipo de Uso da Terra	Área Total da Classe (ha)	Total da Classe (%)
Mata	162,16	49,07
Campo Limpo	1,35	0,40
Campo Sujo	8,95	2,70
Áreas Urbanizadas	5,20	1,57
Agricultura Comercial	14,41	4,36
Agricultura Tradicional	0,86	0,26
Capoeira	17,74	5,36
Pasto Cultivado	32,83	9,93
Pasto Nativo	22,95	6,94
Reflorestamento	38,78	11,73
Solo Exposto	13,63	4,12
Terreno Sujeito à Inundação	11,54	3,49
Total	330,40	100,0

Fonte: Vestena et al. 2024.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da bacia do Rio das Pedras (Figura 2, Tabela 1) demonstrou a predominância da classe mata, cobrindo mais de 49% da área total. Apesar dessa alta porcentagem, a distribuição da vegetação não é homogênea, concentrando-se principalmente nas porções norte e superior da bacia hidrográfica. Essa área, que abriga as principais nascentes do Rio das Pedras e é protegida pela APA Serra da Esperança, é ambientalmente sensível. No entanto, nota-se a presença de agricultura comercial nessas porções mais elevadas da bacia, o que se torna preocupante, dada sua importância para a manutenção da "produção de água" em quantidade e qualidade.

A agricultura de subsistência (0,26%) apresenta uma extensão menor em comparação à agricultura comercial (4,36%). A agricultura de subsistência, tipicamente praticada por posseiros e pequenos proprietários, concentra-se em áreas muitas vezes declivosas e com limitações para mecanização, utilizando mão de obra familiar para culturas como milho e feijão. Em contrapartida, a agricultura mecanizada e comercial, que envolve o uso intenso de agrotóxicos e adubação química, predomina na porção média e superior da bacia. É notável a presença de solo exposto em 4,16% da área total, relacionado a locais em preparo para os cultivos temporários, na região comumente destinadas para o plantio da soja.

As classes de campo sujo (2,70%) e campo limpo (0,40%), caracterizadas por vegetação arbustiva e herbácea, distribuem-se por toda a extensão da bacia, com exceção da porção norte. Essas áreas de campo geralmente suportam atividades associadas à agricultura mecanizada e/ou pecuária. As áreas de pasto cultivado (9,93%) e pasto nativo (6,94%), ambas utilizadas para criação de gado, concentram-se nas porções central e sul. A classe capoeira (5,36%) ocorre de forma mais dispersa por toda a bacia hidrográfica.

A agricultura de subsistência (0,26%) apresenta uma extensão menor em comparação à agricultura comercial (4,36%). A agricultura de subsistência, tipicamente praticada por posseiros e pequenos proprietários, concentra-se em áreas muitas vezes declivosas e com limitações para mecanização, utilizando mão de obra familiar para culturas como milho e feijão. Em contrapartida, a agricultura mecanizada e comercial, que envolve o uso intenso de agrotóxicos e adubação química, predomina na porção média e superior da bacia. É notável, ainda, a presença de solo exposto em 4,16% da área total, essencialmente relacionada a locais em preparo para o cultivo de plantas temporárias, na região comumente destinadas para o plantio da soja.

As áreas de plantio e replantio de espécies vegetais nativas ou não nativas (reflorestamento), principalmente Pinus e erva-mate, também são relevantes. Ambos os produtos florestais exercem importante contribuição na geração de renda e emprego em Guarapuava, sendo a erva-mate sombreada, inclusive, reconhecida como um patrimônio agrícola mundial pela FAO (IDR-Paraná, 2024).

Quanto aos demais usos da terra, as áreas urbanas ocupavam 1,57% da área total da bacia em 2018. Também, as áreas alagadas ou sujeitas à inundação, que representavam 3,49% da bacia, são tipicamente planas e localizadas em fundos de vale ou depressões. Essas áreas são hidrologicamente sensíveis e desempenham um papel crucial na regulação do fluxo fluvial, e por este motivo devem ser preservadas.

Essa configuração da paisagem é um fator crítico na determinação da qualidade da água, pois diferentes usos exercem pressões distintas sobre os recursos hídricos (Sperling, 1996; Mello et al., 2020). Na Bacia do Rio das Pedras, observam-se atividades intensas de agricultura mecanizada e comercial, de florestamento/reflorestamento e da criação de gado. Tais atividades, quando exercidas em áreas inadequadas (como proximidades de cursos fluviais ou em áreas declivosas) e sem a utilização de técnicas de manejo apropriadas, entram em conflito direto com a preservação e conservação ambiental no manancial.

Compreendendo interdependência entre o uso do solo e a qualidade dos recursos hídricos, apresenta-se na Tabela 2, os indicadores de qualidade da água avaliados, com base nas normas e padrões estabelecidos na "Lei das Águas" (Lei nº 9.433/97) e na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 2 – Indicadores qualitativos da água coletada no rio das Pedras em 2018.

Parâmetros avaliados	Concentração média	Valores máximos/mínimos permitidos para cada enquadramento
Oxigênio Dissolvido (OD)	8,38 mg/L	Classe 1: ≥ 6 mg/L Classe 2: ≥ 5 mg/L Classe 3: ≥ 4 mg/L Classe 4: ≥ 2 mg/L
Fósforo Total	0,061 mg/L	Classe 1: 0,025 mg/L Classe 2: 0,050 mg/L Classe 3: 0,075 mg/L Classe 4: Não há limite especificado.
DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio	2 mg/L	Classe 1: 3 mg/L Classe 2: 5 mg/L Classe 3: 10 mg/L Classe 4: Não há limite especificado.
Turbidez	42 NTU	Classe 1: 40 UNT Classe 2: 100 UNT Classe 3: 100 UNT Classe 4: Não há limite especificado.
Escherichia coli	1.356,667 NMP	Classe 1: não exceder 200/100mL; Classe 2: não exceder 1.000/100mL; Classe 3: não exceder 2.500/100mL (recreação de contato secundário), não exceder 1.000/100mL (dessedentação de animais criados confinados), não exceder 4.000/100mL (demais usos) Classe 4: Não há limite especificado.

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA), 2024.

O Rio das Pedras é um ambiente lótico, cujo fluxo constante promove a aeração e, consequentemente, altos níveis de Oxigênio Dissolvido (OD), essenciais para a vida aquática e a autodepuração (ANA, 2017; Figur e Reis, 2017). A concentração de OD é um indicador sensível da saúde do rio, influenciada também por fatores como pressão atmosférica e temperatura (Branco, 2003). Em 2018, a média de OD na foz foi de 8,38 mg/L, este valor, superior aos limites mínimos da Resolução CONAMA nº 357/2005, indica boas condições de oxigenação no ponto avaliado.

A DBO, por sua vez, indica a quantidade de matéria orgânica biodegradável e o potencial de consumo de oxigênio, sendo um indicador chave de poluição orgânica, frequentemente associada a esgoto doméstico (Alvez et al. 2008). A concentração média da DBO no rio das Pedras foi de 2 mg/L está dentro dos limites máximos para as Classes 1, 2 e 3. Esses valores, podem indicar que o rio no ponto de coleta possui boa oxigenação e baixa carga de matéria orgânica e que esta pode ser facilmente biodegradável. Mesmo na presença de alguma poluição, a aeração natural pode contribuir para a manutenção de níveis elevados de OD.

Apesar do potencial de lançamento de efluentes e contaminantes por atividades antrópicas na bacia (incluindo agricultura, pastagem, reflorestamento e áreas urbanizadas ou com solo exposto), a baixa DBO indica que a quantidade de matéria orgânica biodegradável não foi suficiente para comprometer o oxigênio no ponto de coleta. A baixa DBO, por sua vez, aliada aos bons níveis de OD, sugere que, embora a bacia apresente atividades antrópicas com potencial para gerar efluentes e contaminantes, a carga orgânica biodegradável no ponto de coleta não foi alta o suficiente para comprometer significativamente o oxigênio. Tal condição pode ser atribuída à capacidade de diluição promovida pelo fluxo do rio, bem como à sua autodepuração e oxigenação, características inerentes a ambientes lóticos como o Rio das Pedras (Da Silva et al., 2010; Figur e Reis, 2017). Além disso, a presença de áreas de mata, da APA Serra da Esperança e de Áreas de Preservação Permanente (APPs) na bacia tende a manter ou melhorar os níveis de OD e DBO, protegendo o corpo d'água, realizando a "filtragem" dos efluentes e contaminantes, moderando a temperatura e favorecendo a oxigenação natural (Figur e Reis, 2017; Anbumozhi et al., 2005; Phua & Minowa, 2005; Chaves & Santos (2009); Goncalves e Rocha, 2016).

No entanto, ainda que os valores de OD e DBO na foz do Rio das Pedras estejam em níveis favoráveis, as atividades antrópicas identificadas na bacia, como a agricultura e a pecuária, possuem o potencial de elevar a carga orgânica. Além disso, a ausência de infraestrutura e saneamento básico em áreas rurais e urbanizadas pode agravar os efeitos negativos na qualidade da água (Silva et al., 2010).

A concentração média de Fósforo Total no ponto de coleta do rio das Pedras foi de 0,061 mg/L. Embora dentro do limite da Classe 3 (0,075 mg/L) pela CONAMA nº 357/2005 para ambientes intermediários/tributários, esse valor supera os limites das Classes 1 e 2. O excesso de fósforo é um dos principais causadores da eutrofização (ANA, 2017). As fontes mais comuns incluem esgoto doméstico, agrotóxicos e efluentes industriais. Na bacia, a agricultura mecanizada e comercial, criação de gado e urbanização são usos da terra que provavelmente influenciam essa concentração, especialmente quando há exploração ou manejo inadequado do solo sem manutenção das áreas de mata, como nas APPs, o que promovo o escoamento superficial deste nutriente para o rio (Alves et al., 2008; Schamann et al., 2024). Isso indica que a concentração nesta área reflete a acumulação de fósforo das atividades a montante.

A Turbidez, medida no Rio das Pedras, atingiu 42 NTU em 2018. Embora este valor esteja dentro dos limites para as Classes 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (100 NTU), ele excede o limite máximo para a Classe 1 (40 NTU). A principal causa da turbidez é a erosão do solo, com as águas pluviais transportando grande quantidade de material sólido para os corpos d'água, especialmente em bacias com uso do solo que promova a retirada de vegetação nativa ou mata ciliar (ANA, 2017; Figur e Reis, 2017). Na Bacia do Rio das Pedras, a turbidez elevada pode ser potencializada pela agricultura mecanizada e comercial e pela criação de gado, sobretudo quando praticadas em áreas inadequadas (declivosas ou próximas a rios) e sem manejo apropriado. Atividades como o preparo do solo para cultivo e o pisoteio do gado, em especial onde há ausência de vegetação protetora como a mata ciliar, intensificam a erosão e o transporte de sedimentos para o rio. Além do aumento dos custos de tratamento da água, a alta turbidez afeta a vida aquática, o uso industrial e atividades recreativas, e pode indicar a presença de organismos patogênicos (ANA, 2017). A manutenção e proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs) são importantes para conter sedimentos e filtrar a água, auxiliando na redução da turbidez.

A presença de *Escherichia coli* (*E. coli*), uma bactéria coliforme termotolerante de habitat intestinal humano e de animais homeotérmicos, é um indicador direto de contaminação fecal e, consequentemente, de risco à saúde pública (Lubenow et al., 2012; ANA, 2017). No rio das Pedras, a concentração média de *E. coli* foi de 1.356,667 NMP, um valor considerado muito elevado e que pode oferecer riscos à saúde humana. Este resultado excede os limites máximos para as Classes 1 (200/100mL) e 2 (1.000/100mL) da CONAMA nº 357/2005, sendo o fator mais limitante para o enquadramento do manancial nas classes mais restritivas e para diversos usos da água. Mesmo para a Classe 3, o valor supera o limite para dessedentação de animais confinados (1.000/100mL), embora esteja dentro de outras utilizações permitidas. A principal causa dessa alta concentração de *E. coli* está frequentemente associada ao lançamento de efluentes domésticos não tratados e aos dejetos de atividades agropecuárias (como a criação de gado), especialmente quando não há manejo adequado ou as atividades ocorrem próximas aos corpos d'água e sem mata ciliar. O ambiente lótico do rio das Pedras, com seu fluxo contínuo, atua como um transportador desses microrganismos das fontes a montante para o ponto de captação. A alta concentração de *E. coli* na foz do Rio das Pedras é influenciado pelas atividades humanas na bacia. A melhoria deste parâmetro requer a ampliação da infraestrutura de saneamento básico, a fiscalização rigorosa das atividades de criação animal e do descarte de dejetos, e a manutenção e recuperação de áreas de mata ciliar.

Sendo assim, os altos valores dos indicadores qualidade da água ditados pela Turbidez, Fósforo Total e *Escherichia coli* no rio das Pedras são consistentes se relacionados aos usos da terra, já que é sabido que as atividades como agricultura, pecuária e a presença de áreas urbanas ou rurais com manejo inadequado são reconhecidas como as principais da degradação dos recursos hídricos.

Considerações finais

A avaliação da qualidade da água do rio das Pedras revelou a influência direta do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica. Os elevados valores de Escherichia coli, Fósforo Total e Turbidez indicam que a qualidade da água está comprometida para usos mais restritivos, reforçando a ideia de que a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica deve ser realizada em conjunto com a gestão do uso do solo, frisando a necessidade de ações efetivas de manejo da terra para a conservação da qualidade da água no manancial.

Embora o recorte temporal da análise seja referente ao ano de 2018, as interpretações obtidas permanecem relevantes. As pressões antrópicas identificadas, como atividades agropecuárias e urbanização ainda persistem na região, mantendo a vulnerabilidade do manancial. Dessa forma, a compreensão das relações entre uso da terra e qualidade da água é crucial para o planejamento ambiental e a tomada de decisões.

Portanto, as medidas de mitigação propostas, como o fortalecimento da fiscalização ambiental, o controle do lançamento de efluentes, contaminantes e a conservação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Áreas de Proteção Ambiental (APAs), continuam sendo estratégias válidas e aplicáveis para a melhoria e preservação da qualidade da água no rio das Pedras.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

ALVES, Eliane Cristina et al. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó-Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

ANA. Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade das Águas. Brasília, DF, 2017. Disponível em: http://www.ana.gov.br/portal/acoes-e-programas/indicadores-de-qualidade/indice-de-qualidade-das-aguas. Acesso em: 30 maio 2025.

ANBUMOZHI, V.; RADHAKRISHNAN, J.; YAMAJI, E. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. **Ecological Engineering**, v. 24, p. 517-523, 2005. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2004.01.007.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L.; BEDNARZ, J. A. The Faxinal System: Forest fragmentation and soil degradation on the communal grazing land. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v. 40, n. 1, p. 34-49, 2019.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 137, n. 1-2, p. 47-58, 2010.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água: origem, uso e preservação**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 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. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/resolucoes/2005/RES357.pdf. Acesso em: 30 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. 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. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 6, p. 1-5, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 30 maio 2025.

DA SILVA, Joiada Moreira; LINHARES, Deborah Pereira; BASTOS, Wanderley Rodrigues. GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ANÁLISE INTEGRADA DO USO DA TERRA E QUALIDADE DE ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO PRETO-RONDÔNIA1. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, 2010.

DE LA TORRE, A.; IGLESIAS, I.; CARBALLO, M.; RAMÍREZ, P.; MUÑOZ, M. J. An approach for mapping the vulnerability of European Union soils to antibiotic contamination. **Science of the Total Environment**, v. 414, p. 672-679, 2012.

DE OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. Potencial de impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2002.

ENGEFOTO. **Aerofotografias do Município de Guarapuava/PR**. Resolução espacial: 30 m. 2018.

FIGUR, Cassia; REIS, Janete Teresinha. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 2, p. 352-365, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FRANÇA, F. M., FRAZÃO, F. S., KORASAKI, V., LOUZADA, J., & BARLOW, J. Identifying thresholds of logging intensity on dung beetle communities to improve the sustainable management of Amazonian tropical forests. **Biological Conservation**, v. 216, p. 115, 2017.

GONÇALVES, Daniel Ruiz Potma; ROCHA, Carlos Hugo. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1172-1183, 2016.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de base e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

GUARAPUAVA. **Arquivo shapefile**: Perímetro referente à Bacia do Rio das Pedras. 2020. Escala: 1:30.000.

GUARAPUAVA. **Arquivo shapefile**: Recorte hidrografia (Bacia do Rio das Pedras). 2020. Escala: 1:30.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Arquivo shapefile**: Divisão político/administrativa do Brasil. 2019. Escala: 1:1.000.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 5 dez. 2024.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Arquivo shapefile**: Divisão político/administrativa do estado do Paraná. 2019. Escala: 1:250.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 5 dez. 2024.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Arquivo shapefile**: Divisão político/administrativa do município de Guarapuava. 2019. Escala: 1:250.000. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138&t=acesso-ao-produto. Acesso em: 5 dez. 2024.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-PARANÁ). Erva-mate: reconhecimento da FAO é "prêmio à cooperação institucional", afirma diretora do IDR-Paraná. **Notícia**, Curitiba, 28 maio 2025. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Erva-mate-reconhecimento-da-FAO-e-premio-cooperacao-institucional-afirma-diretora-do-IDR. Acesso em: 30 maio 2025.

LUBENOW, Augusto Tomazzoni et al. Impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Nhapindazal, Irati (PR) Impact of land use and occupation on the water quality of Nhapindazal river watershed, Irati,(PR). **Ambiência**, v. 8, n. 3, p. 845-858, 2012.

MASCARELLO, L. V.; CAMARGO FILHO, M. Caracterização de cone de dejeção associado à erosão em voçoroca com caráter ocorrente descontínuo em encosta: a encosta Guairacá, Guarapuava (PR)-Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Guarapuava. **Anais** [...]. Guarapuava: [s. n.], 2006.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. 110879, p. 1 – 16, 2020.

NAVAR, J.; ESTRADA-SALVADOR, A.; ESTRADA-CASTRILLÓN, E. The effect of land use change in the tropical dry forests of Morelos, Mexico on carbon stocks and fluxes. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 295-307, 2010.

OLSON, N. C.; GULLIVERA, J. S.; NIEBER, J. L.; KAYHANIAN, M. Remediation to improve infiltration into compact soils. **Journal of Environmental Management**, v. 117, p. 85-95, 2013.

PHUA, M.-H.; MINOWA, M. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 207-222, 2005. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.03.004.

PILON, C.; MOORE JR., P. A. D.; POTE, H.; PENNINGTON, J. H.; MARTIN, J. W.; BRAUER, D. K.; RAPER, R. L.; DABNEY, S. M.; LEE, J. Long-term effects of grazing management and buffer strips on soil erosion from pastures. **Journal of Environmental Quality**, v. 46, n. 2, p. 364-372, 2017.

REN, Y. et al. Effects of rapid urban sprawl on urban forest carbon stocks: Integrating remotely sensed, GIS and forest inventory data. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 447-455, 2012.

SANTANA, D. P. **Manejo integrado de Bacias Hidrográficas**. Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

SANTOS, A. F.; KOBIYAMA, M. Contribuição potencial de cargas poluentes na bacia do Rio das Pedras, no município de Guarapuava-PR. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 33-46, 2003.

SCHAMANN KONZEN, Isabela et al. IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AND LAND USE ON WATER QUALITY: AN ANALYSIS IN MICROBASINS IN RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 20, 2024.

SIDORCHUK, A. Y.; GOLOSOV, V. N. Erosion and sedimentation on the Russian Plain, II: the history of erosion and sedimentation during the period of intensive agriculture. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 16, p. 3347-3358, 2003.

SILVA, I. R. DA; BROVINI, E. M.; PEREIRA, R. DE O.; GOMES, R. M. H. Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do Ribeirão Espírito Santo - Juiz de Fora/MG. **REA – Revista de Estudos Ambientais (Online)**, v. 22, n. 1, p. 35-51, jan./jun. 2020.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

STAVI, I.; BARKAI, D.; KNOLL, Y. M.; ZAADY, E. Livestock grazing impact on soil wettability and erosion risk in post-fire agricultural lands. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 1203-1208, 2016.

UPGUPTA, S.; SINGH, P. K. Fragmented landscapes of east Bokaro coalfields: A remote sensing based approach highlighting forestland dynamics. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 1313-1326, 2017.

VESTENA, L. R. Água: conceitos e procedimentos metodológicos à educação ambiental. In: VESTENA, C. L. B.; SOUZA, F. M. (Org.). **Educação ambiental em foco**. São Carlos/SP: [s. n.], 2016. 209 p.

VESTENA, L. R.; BERTOTTI, L. G.; GARDIM. Uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras. In: BATTISTELLI, M.; CAMARGO FILHO, M.; HEERDT, B. (Org.). **Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras**: Relato de Experiências. Guarapuava: Editora B&D Ltda., 2004. p. 100-108.

VESTENA, L. R.; THOMAZ, E. L. Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 73-85, 2006.

VESTENA, Leandro Redin; DOS SANTOS, Rebeka Aparecida Almeida; CAMARGO FILHO, Mauricio. Dinâmica temporo-espacial da cobertura da terra na área de manancial de Guarapuava, Paraná. **Geosul**, v. 39, n. 90, p. 67-90, 2024.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; SILVA, J. M. C.; HIGUCHI, H. Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, p. 949-956, 2008.

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENTRO-OESTE DO RIO GRANDE DO SUL

1Santore Renner dos Santos, 2Tiago de Vargas, 2Pedro Antonio Roehe Reginato, 2Franciele Schwanck Carlos, 3Taison Anderson Bortolin[3]

1IC – PIBIC – IPH/UFRGS, e-mail: santorerenner@yahoo.com.br; 2DHH – IPH/UFRGS, e-mail: tiago.devargas@ufrgs.br, pedro.reginato@ufrgs.br, schwanck.carlos@ufrgs.br; [3]FEPAM, e-mail: tabortol@gmail.com.

Palavras-Chaves: hidrogeoquímica; águas subterrâneas; qualidade da água.

Resumo

A hidroquímica é essencial para avaliar a qualidade da água subterrânea, identificar processos geoquímicos e apoiar a gestão sustentável dos recursos hídricos. Este estudo realizou a caracterização hidroquímica de poços tubulares nos municípios de São Vicente do Sul, Cacequi, Rosário do Sul e Vila Nova do Sul, no Rio Grande do Sul, visando avaliar a qualidade da água subterrânea e compreender os processos hidrogeoquímicos atuantes. Foram coletados e analisados dados físico-químicos provenientes do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e do banco de dados do Grupo Águas Subterrâneas (UFRGS). Os parâmetros avaliados incluíram pH, dureza, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (CE) e concentrações de íons principais e traços. A classificação hidroquímica foi realizada utilizando diagramas de Piper e US Dept. of Agriculture, enquanto a avaliação da qualidade da água seguiu os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Os resultados indicaram predominância de água bicarbonatada cálcica e mista, características de áreas de recarga e fluxos recentes, bem como água bicarbonatada sódica associada a zonas de confinamento e evolução hidroquímica. Foram identificadas concentrações acima dos limites permitidos para fluoreto, nitrato, alumínio, ferro e manganês. As elevações de fluoreto, ferro e manganês foram atribuídas a processos naturais, enquanto o nitrato sugere contaminação antrópica. A análise espacial indicou maior confinamento e salinização no Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia, especialmente em São Vicente. A maioria das águas foi classificada como doce e adequada para consumo humano, dessedentação animal e irrigação. Este estudo reforça a importância do monitoramento contínuo para a gestão sustentável e segura dos recursos hídricos subterrâneos.

Introdução

A qualidade da água subterrânea é essencial para os diferentes usos atribuídos aos recursos hídricos na sociedade e na economia. A hidroquímica é uma ferramenta elementar e indispensável para o conhecimento sobre o ambiente aquífero. Possui uma importância fundamental na **c**aracterização dos aquíferos, avaliação da qualidade da água, identificação de processos geoquímicos, determinação da origem das águas, monitoramento de contaminação e apoio ao manejo sustentável (Feitosa, 2008). Goffermann, Viero e Silva (2015) realizaram a avaliação sistemática de parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), dureza, além de concentrações de íons majoritários (como cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto e sulfato). Além disso, conseguiram classificar as águas subterrâneas, avaliar o grau de mineralização e salinização das águas, interpretar processos naturais e diferenciar águas jovens e antigas. Já Marimon (2006) aplicou a hidroquímica de forma integrada para compreender os mecanismos de origem, mobilização e distribuição do flúor**,** correlacionando as características químicas das águas com os aspectos geológicos e hidrogeológicos da formação estudada e a potabilidade para consumo humano. Por outro lado, Cezimbra (2019) utilizou a hidroquímica como instrumento essencial para compreender a dinâmica e qualidade das águas subterrâneas, interpretar os processos de evolução hidrogeoquímica e propor medidas para a gestão adequada do recurso hídrico, especialmente considerando seu potencial uso transfronteiriço. O objetivo deste estudo é realizar uma caracterização hidroquímica dos poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea nas cidades de São Vicente do Sul, Cacequi, Rosário do Sul e Vila Nova do Sul, relacionando a qualidade da água com a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, o risco de salinidade para irrigação e o ambiente hidrogeoquímico do aquífero.

Área de Estudo

O estado do Rio Grande do Sul encontra-se subdividido em vinte e cinco bacias hidrográficas, que compõem três grandes regiões hidrográficas: Uruguai, Guaíba e Litoral. Os poços analisados localizam-se na região centro-oeste do estado (Figura 1), abrangendo os municípios de São Vicente do Sul, com população estimada em 8.259 habitantes, e Cacequi, com 11.324 habitantes, ambos inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí; Rosário do Sul, que conta com 37.700 habitantes e integra a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria; e Vila Nova do Sul, com 3.935 habitantes, pertencente à Bacia Hidrográfica do Vacacaí - Vacacaí Mirim (IBGE, 2025). O clima da região é subtropical úmido, apresentando temperatura média anual entre 17°C e 20°C (Sccoti, 2021).

De acordo com a CPRM (2005), a hidrogeoquímica da área de estudo é caracterizada pelo Sistemas Aquíferos Botucatu/Guará, Sanga do Cabral/Pirambóia, Palermo/Rio Bonito e Embasamento Cristalino II. Esses autores descrevem o Sistema Aquífero Botucatu/Guará I evidencia águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas, com teores variáveis de magnésio e sódio, e, em menor proporção, cloretadas sódicas. Nas áreas aflorantes, compostas por arenitos quartzosos com

intercalações pelíticas, observa-se baixa mineralização, com sólidos totais dissolvidos (STD) geralmente inferiores a 250 mg/L. Por outro lado, O Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia apresenta águas com composição variada entre bicarbonatadas mistas, sódicas e cloretadas sódicas, com salinidades que partem de 100 mg/l nas áreas aflorantes, elevando-se para mais de 300 mg/l nas zonas confinadas, e atingindo entre 3.000 e 5.000 mg/l na região central, o que compromete seu uso para abastecimento público e irrigação. No Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito, as águas exibem salinidades variando entre 800 e 1.500 mg/l, podendo atingir concentrações superiores a 10.000 mg/l em grandes profundidades, caracterizando-se como salinas. Por sua vez, o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II apresenta águas com salinidades geralmente inferiores a 300 mg/l nas áreas não influenciadas por sedimentos marinhos, sendo que poços perfurados em rochas graníticas podem apresentar enriquecimento em flúor.

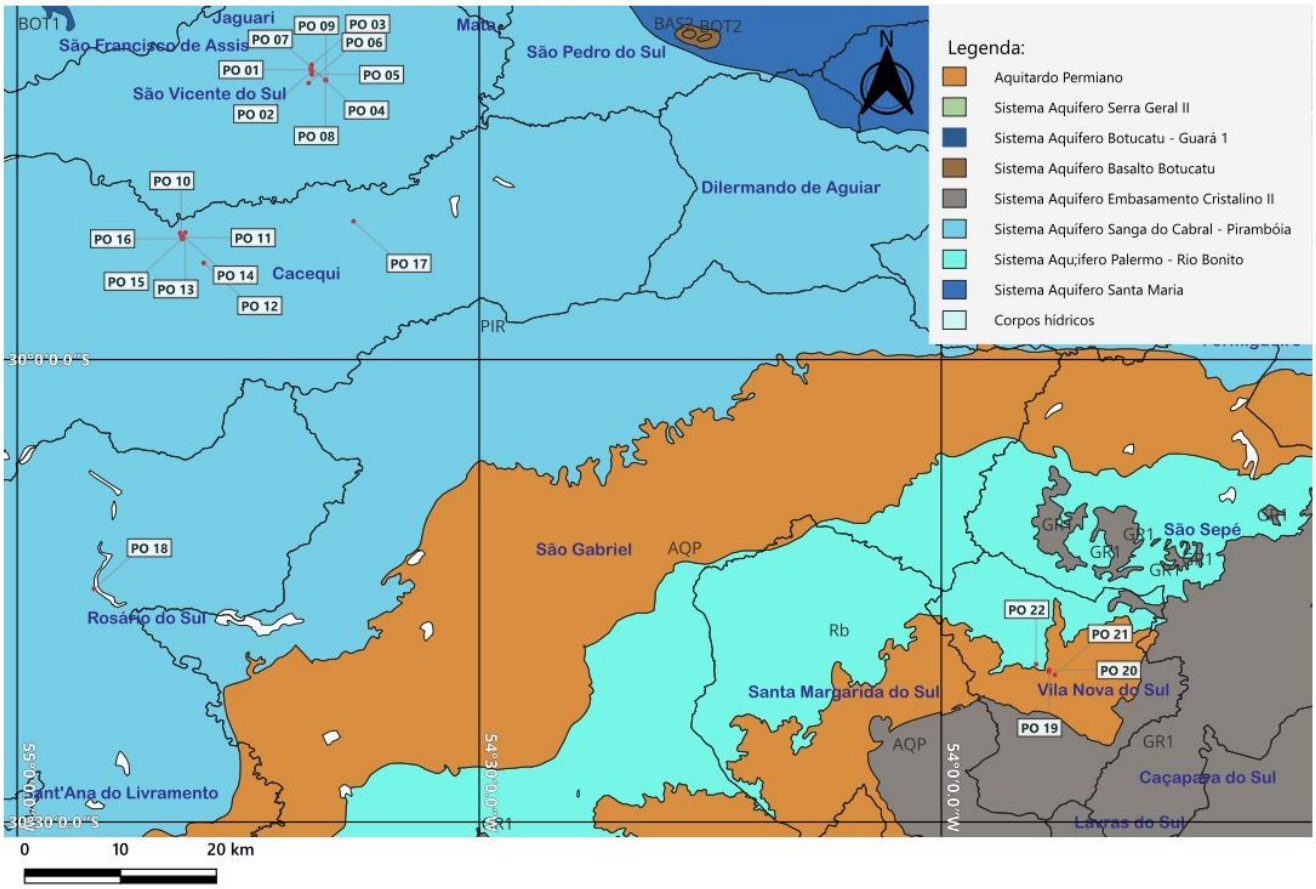


Figura 1. Mapa de localização e hidrogeológico dos municípios estudados.

Metodologia

Os dados hidroquímicos dos poços tubulares utilizados foram extraídos do banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), pertencente ao Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), e dos bancos de dados de poços do grupo de Pesquisas de Águas Subterrâneas da UFRGS. Para a classificação hidrogeoquímica foram selecionadas 21 análises físico-químicas pertencentes a 16 poços. Alguns desses poços apresentaram análises com mais de um período, aptas ao estudo. Por outro lado, a análise de valores máximos permitidos para potabilidade considerou 58 análises químicas referentes a 37 poços. Esses poços também apresentaram mais de um período análise físico-química. As classificações das águas subterrâneas foram realizadas através do Diagrama de Piper, software Qualigraf v.1.17 e para a verificação do valor máximo permitido utilizou-se a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 e o software *Microsoft Excel*®. Além disso, foi realizada estatística descritiva abordando média (Qtméd.), máxima (Qtmáx.), mínima (Qtmín.) e desvio padrão (dp).

Resultados e Discussões

A análise estatística indicou que, na região de estudo, o pH apresentou uma média de 7,14, variando de levemente ácido a básico, mas permanecendo dentro do intervalo estabelecido para a potabilidade (Tabela 1). A dureza da água oscilou entre branda e muito dura, conforme a classificação de Custódio e Lamas (1983), sendo que 23 análises foram classificadas como branda, 5 como pouco dura, 22 como dura e 3 como muito dura. Predominantemente, as águas classificadas como duras estão associadas ao Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia, na cidade de São Vicente. Com relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), foi observado um poço com valor acima do limite máximo permitido pela legislação de potabilidade. A

elevação dos valores de STD, juntamente com a Condutividade Elétrica (CE), ocorreu majoritariamente nas amostras provenientes de poços que captam água no Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia, também na cidade de São Vicente. Goffermann, Viero e Silva (2015) analisaram 59 amostras na região de São Gabriel, observando que a maioria delas se enquadram nas categorias duras a muito duras, especialmente aquelas provenientes de zonas confinadas e de maior profundidade. Também verificaram valores de CE variando entre 42,3 e 3.740,00 µS/cm, e de STD entre 26,00 e 2.704,00 mg/L. Esses autores identificaram os menores valores de CE e STD nas áreas de recarga, indicando águas mais jovens, enquanto os valores significativamente mais elevados foram registrados em áreas com maior grau de confinamento. Isso sugere que do ponto de vista hidrogeoquímico o Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia pode ter um grau de confinamento maior na cidade de São Vicente do que na cidade Cacequi, onde são observados valores mais brandos de CE e STD. Por outro lado, Cezimbra (2019) estudou o aquífero Rio Bonito na região de Hulha Negra, Aceguá e Candiota e identificou elevados valores de CE (2.670 µS/cm) e STD (973 mg/L) em alguns poços nas camadas aquíferas 1 e 2, com uma diminuição progressiva desses valores nas camadas mais profundas. Esse padrão foi atribuído à influência de paleoambientes marinhos transicionais nas camadas superficiais do aquífero. Águas duras e muito duras podem ter efeitos benéficos para a saúde humana, segundo Alloway (2013) essas águas podem prevenir problemas cardiovasculares.

Tabela 1. Valores estatísticos para os parâmetros pH, Dureza, STD e CE.

Parâmetros	pH	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	CE µS/cm
Quantidade de análises	56	53	18	34
Valor máximo	8,60	266,00	564	651,00
Valor mínimo	5,90	0,90	42	14,80
Valor médio	7,14	92,32	181,4222	268,73
Desvio padrão	0,74	70,99	124,2115	203,59

O valor máximo permitido (VMP) foi ultrapassado em seis parâmetros químicos: fluoreto, nitrato, alumínio, ferro, manganês e sulfato (Tabela 2). O fluoreto atingiu a concentração de 2,09 mg/L em um poço que explora água do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II, ultrapassando o limite estabelecido para o consumo humano (1,5 mg/L). A presença excessiva de flúor também foi identificada no Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia (Goffermann, Viero e Silva, 2015) e no Aquífero Rio Bonito (Cezimbra, 2019), sendo associada a processos naturais de interação água-rocha. A ingestão de água com altas concentrações de flúor pode ocasionar doenças como fluorose dentária (até 4 mg/L), fluorose esquelética (até 10 mg/L) e câncer (acima de 10 mg/L) (Alloway, 2013). O alumínio apresentou concentrações superiores ao VMP em 18 análises, variando entre 0,3 e 12,7 mg/L. Goffermann, Viero e Silva (2015) e Cezimbra (2019) também identificaram algumas amostras com teores elevados desse elemento, atribuindo essa ocorrência à acidificação natural da água em determinados setores, o que promove a solubilização de minerais aluminosos. Os elementos ferro e manganês, usualmente associados, apresentaram concentrações predominantemente abaixo do VMP. No entanto, foram observados valores acima do recomendado para o ferro em 11 análises (0,5 a 1,5 mg/L) e para o manganês em 6 análises (0,15 a 4,40 mg/L). O enriquecimento desses elementos no sistema pode ser atribuído ao confinamento do aquífero e às condições redutoras, típicas de ambientes anóxicos, que favorecem a solubilização de minerais portadores de ferro e manganês. Em relação ao sulfato, não foram observadas concentrações superiores ao VMP. Contudo, os valores mais elevados podem ser associados à dissolução natural de minerais, como a gipsita, presentes nas formações geológicas da área de estudo, bem como a processos de oxidação de sulfetos, indicando uma maior evolução hidroquímica em determinadas zonas (Goffermann, Viero e Silva, 2015; Cezimbra, 2019). Por fim, o nitrato permaneceu dentro dos limites permitidos na maioria das análises, exceto em uma, na qual foi registrada a concentração de 17,6 mg/L. Esse valor é indicativo de contaminação antrópica nas águas subterrâneas do município de Cacequi. Contudo, recomenda-se a realização de campanhas adicionais de coleta e análise, a fim de verificar a persistência de concentrações elevadas desse contaminante.

Tabela 2. Valores dos parâmetros fluoreto, nitrato, alumínio, ferro, manganês e sulfato (mg/L).

Parâmetros	Fluoreto	Nitrato	Alumínio	Ferro	Manganês	Sulfato
Quantidade de análises	38	21	27	36	27	54
Valor máximo	2,09	17,6	12,7	1,5	4,4	81
Valor mínimo	0,1	0,05	0	0,03	0,003	0,3
Valor médio	0,31	1,72	1,45	0,34	0,34	7,24
Desvio padrão	0,33	3,78	2,47	0,40	0,99	11,25

A classificação hidrogeoquímica observada abrange águas do tipo bicarbonatada cálcica (10 análises), mista-mista (1 análise), bicarbonatada mista (9 análises) e bicarbonatada sódica (1 análises) (Figura 2). As águas bicarbonatada cálcica predominam nas áreas de recarga e nos aquíferos com fluxo mais recente, indicando pouca interação com as rochas ou

ausência de confinamento. Por sua vez, as águas bicarbonatada sódica estão associadas a zonas de fluxo mais lento ou confinado, apresentando teores moderados a elevados de sódio e processos de troca iônica entre cálcio e sódio (Goffermann, Viero e Silva, 2015). A água bicarbonatada mista pode marcar a transição entre a bicarbonatada cálcia e bicarbonatada sódica. Por outro lado, a água mista-mista apresenta uma concentração maior de sulfato. A elevação de sulfato nas águas subterrâneas, desses aquíferos, pode estar associada a mistura com águas subterrâneas mais profundas, do tipo sulfatada sódica que é associada à dissolução de minerais de sulfatos e aos processos de salinização, relacionando a uma maior evolução hidroquímica (Goffermann, Viero e Silva, 2015). Na área de estudo, as águas subterrâneas foram predominantemente classificadas como bicarbonatada cálcica e bicarbonatada mista, denotando um ambiente de fluxo recente, com pouca interação água-rocha, evoluindo para um fluxo que tende a se tornar mais lento, caracterizado pelas águas bicarbonatadas mistas. Além disso, corroborou parcialmente com os resultados obtidos por Cezimbra (2019), que identificou predominância de águas bicarbonatadas sódicas e cálcicas.

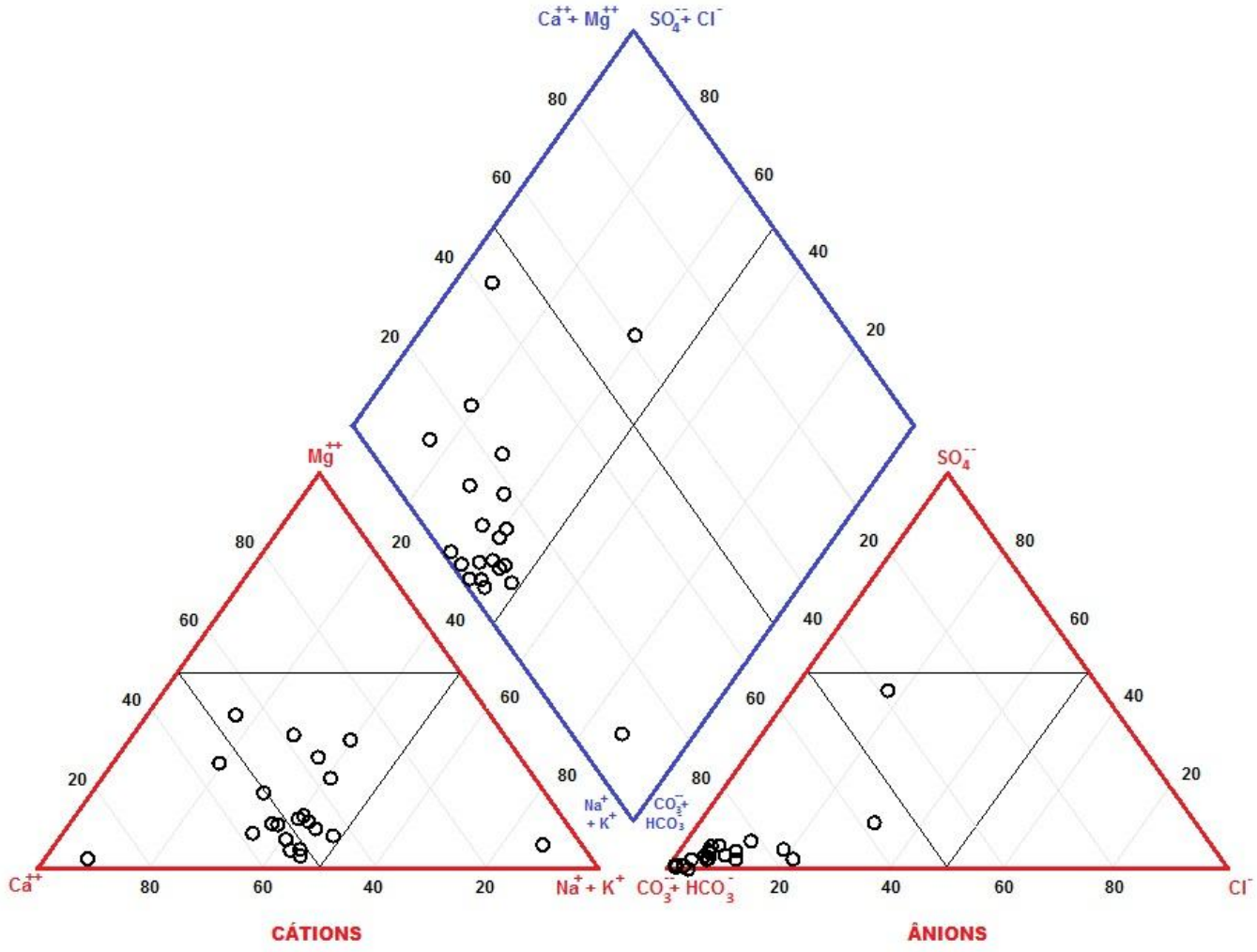


Figura 2. Diagrama de Piper mostrando a classificação das águas subterrâneas observadas na área.

A salinidade dos aquíferos foi avaliada em 21 análises, sendo que todas apresentaram classificação como água doce. A salinidade é um parâmetro importante para avaliar a qualidade da água para consumo humano, dessedentação animal e irrigação. Conforme o diagrama da US Dept. of Agriculture são observadas 7 análises com classificação C0 – S1, 3 análises C1-S1 e 11 análises C2-S1 (Figura 3). C0-S1 representa o risco nulo de sódio e salinização da água, desta forma não há restrições para a irrigação. O campo C1-S1 representa o risco baixo de sódio e de salinização, sendo essas águas fracamente sódicas adequadas à maioria das culturas e solos, com exceção para solos com baixa permeabilidade, e podem ser utilizadas para quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio. Já o campo C2-S1 são águas que devem ser utilizadas com precaução, preferencialmente em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos e possuem fraco risco de formação de teores nocivos de sódio nos solos.

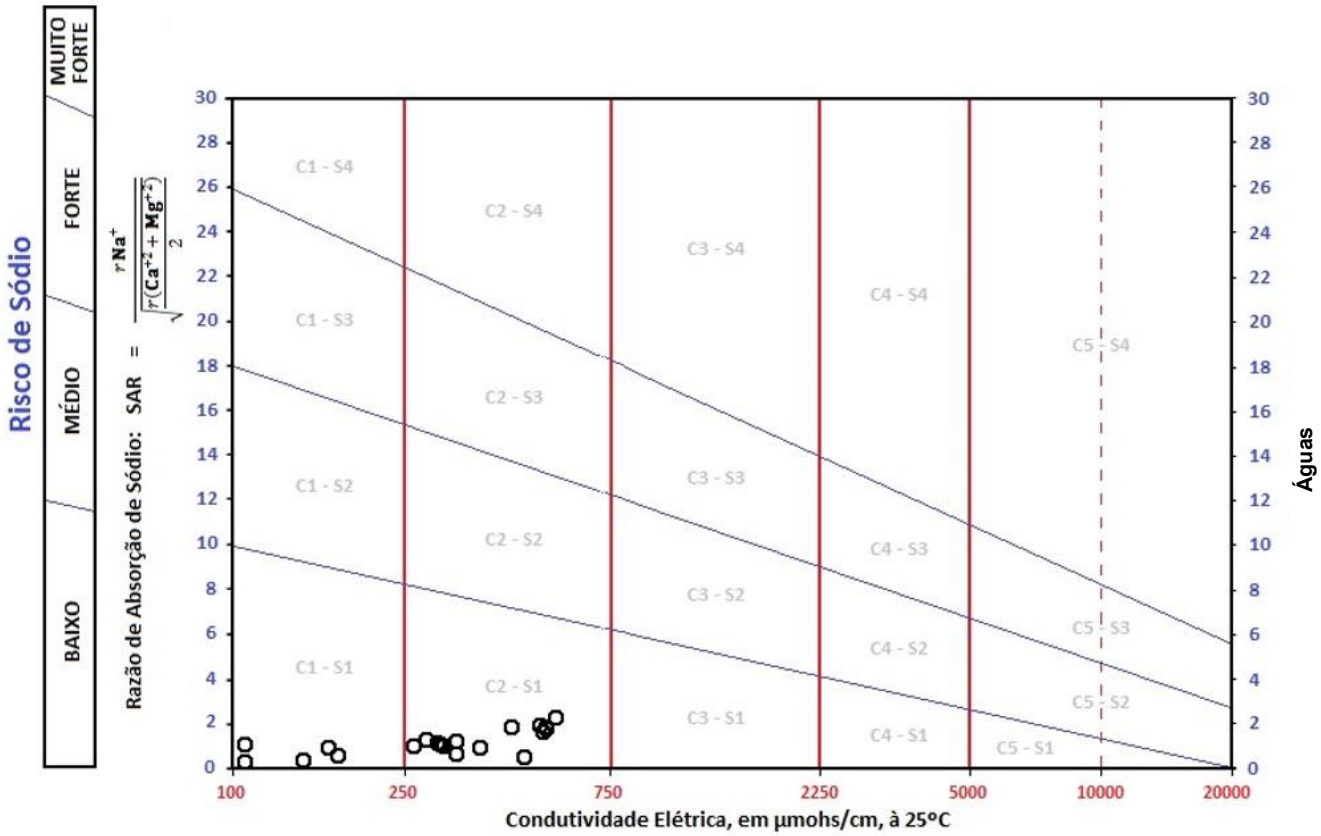


Figura 3. Diagrama da US Dept. of Agriculture com as classificações da qualidade das águas para irrigação quanto ao risco de salinização e o risco de sódio.

Considerações Finais

Os resultados obtidos evidenciam uma moderada variabilidade hidroquímica nas águas subterrâneas da área de estudo, refletindo a complexidade dos sistemas aquíferos analisados. A predominância de águas bicarbonatada cálcicas e bicarbonatada mista indica, predominantemente, ambientes de recarga e fluxos recentes, caracterizados por uma interação moderada a limitada entre a água subterrânea e os materiais geológicos do aquífero. Por outro lado, a água com composição mista-mista, pode estar indicando uma mistura de águas subterrâneas entre aquíferos, já que em aquíferos com zonas confinadas pode ocorrer uma maior evolução hidroquímica, associada a processos naturais, tais como a troca iônica, a dissolução de minerais sulfatos e a salinização.

A análise dos parâmetros físico-químicos revelou que, embora a maioria das amostras apresente qualidade compatível com os padrões de potabilidade, foram identificadas excedências ao Valor Máximo Permitido (VMP) em cinco parâmetros químicos — fluoreto, nitrato, alumínio, ferro e manganês. A ocorrência de concentrações elevadas de fluoreto, ferro e manganês foi atribuída a processos naturais de interação água-rocha, especialmente em ambientes confinados e sob condições redutoras, que favorecem a solubilização desses elementos. Por sua vez, a presença de nitrato está relacionada a fontes de contaminação antrópica, enquanto a elevada concentração de fluoreto, embora de origem natural, representa um risco potencial à saúde pública, podendo ocasionar patologias severas.

As análises estatísticas indicaram, ainda, variações relevantes nos índices de dureza, nos teores de sólidos totais dissolvidos (STD) e na condutividade elétrica (CE), com destaque para concentrações mais elevadas no Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia, na cidade de São Vicente, sugerindo um maior grau de confinamento em relação a outras áreas, como Cacequi. Ressalte-se, adicionalmente, o potencial efeito benéfico da elevada dureza para a saúde humana. Todas as águas analisadas apresentaram salinidade classificada como doce, sendo, neste aspecto, adequada para o consumo humano, a dessedentação animal e, com algumas restrições, para a irrigação.

Em síntese, os resultados obtidos destacam a importância da implementação de um monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas, com especial atenção aos processos naturais de evolução hidroquímica, ao grau de confinamento dos aquíferos e às potenciais fontes de contaminação antrópica, a fim de assegurar a segurança hídrica e a sustentabilidade no uso desses recursos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica para o aluno de graduação que participou deste estudo.

Referências Bibliográficas

ALLOWAY, B. Essentials of Medical Geology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. 805 p.

CEZIMBRA, Flora Dallagnol. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica do Aquífero Rio Bonito nos municípios de Aceguá, Hulha Negra e Candiota e análise do seu aspecto transfronteiriço. 2019. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (Org.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p. ISBN 978-85-7499-061-3.

GOFFERMANN, M.; VIERO, P. A.; SILVA, E. B. da. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel, RS. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 3, p. 239-261, set./dez. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados do Brasil. 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 30 maio 2025.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: Relatório Final. Porto Alegre, RS: CPRM, 2005. 65 p.

MARIMON, P. M. C. O flúor nas águas subterrâneas da Formação Santa Maria, na região de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SCCOTI, A. A. V. et al. Série atlas municipais: Atlas geoambiental de São Vicente do Sul. 2021. DOI: 10.22533/at.ed.831211105.

SUBPRODUTOS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

1Sabrina Anizio Lopes, 2Mariângela Dutra Oliveira
1Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: profsabrinaanizio@gmail.com;2Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: maridutrao@gmail.com

Palavras-chave: Jardim de chuva, economia circular, sustentabilidade.

Resumo

Os desafios relacionados à urbanização e às mudanças climáticas têm incentivado a busca por inovações na gestão das águas urbanas. As soluções baseadas na natureza (SBN) surgem como uma alternativa para a regulação hidrológica, a melhoria da qualidade da água e o conforto térmico nas cidades. Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de subprodutos em sistemas de biorretenção, com o objetivo de promover a economia circular e aumentar a sustentabilidade dessas técnicas. Entre os 25 documentos analisados, publicados entre 2016 e 2025, foram identificados materiais como biochar, carvão ativado proveniente de lodo de esgoto, resíduos da construção civil e subprodutos agrícolas. Os resultados mostram que muitos desses materiais têm desempenho igual ou superior na remoção de nutrientes, metais pesados e contaminantes orgânicos, além de melhorarem as condições hidráulicas dos dispositivos. Isso traz benefícios ambientais e econômicos, reduzindo a extração de recursos naturais e promovendo a economia circular, ao mesmo tempo que diminui a quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários. Conclui-se que os subprodutos são alternativas promissoras aos materiais convencionais, desde que avaliados com critérios técnico-ambientais rigorosos.

Introdução

A crescente urbanização tem exacerbado os impactos negativos da impermeabilização do solo, resultando em um aumento no volume e na carga poluente do escoamento superficial nas áreas urbanas. Nesse cenário, os sistemas de biorretenção, incluindo os jardins de chuva, emergem como uma solução sustentável e eficaz para a resiliência urbana, integrando funções ecológicas, hidrológicas, estéticas e sociais. Esses sistemas são capazes de reduzir picos de vazão, promover a recarga do lençol freático e remover contaminantes por meio de processos físicos, químicos e biológicos (Björklund & Li, 2017).

A eficiência dos jardins de chuva está intimamente ligada às características dos meios filtrantes utilizados. Tradicionalmente, esses meios são compostos por combinações de areia, solo e matéria orgânica, mas apresentam limitações na remoção de poluentes como fósforo e nitrato. Materiais orgânicos, como biochar, fibra de coco, carvão ativado e cascas de nozes, assim como inorgânicos, como óxidos de ferro, cinzas, zeólitas e resíduos de ETA e da construção civil, têm sido estudados, mas sua adoção em políticas públicas é escassa, devido à falta de padronização nas legislações e aplicações práticas que comprovem sua eficácia. Esses materiais mostram potencial para aumentar a sorção de nutrientes, metais e compostos orgânicos, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade da água (Rahman et al., 2016; Morgan et al., 2020)

Diante disso, esta pesquisa visa analisar o uso de subprodutos no substrato e nos meios filtrantes de jardins de chuva, identificando os principais materiais utilizados, suas vantagens técnicas e ambientais, além da viabilidade de substituir os materiais convencionais. A investigação busca a eficiência na remoção de poluentes desses materiais, ressaltando os benefícios ambientais do reaproveitamento de resíduos. Essa abordagem está alinhada aos princípios da economia circular e da gestão sustentável dos recursos hídricos urbanos.

Metodologia

Esta pesquisa é uma revisão sistemática da literatura, seguindo a metodologia proposta por Okoli (2019), com o intuito de identificar e analisar estudos sobre o uso de subprodutos em jardins de chuva e outros sistemas de biorretenção. A metodologia incluiu a busca de documentos, triagem, seleção e, finalmente, a extração de dados. As buscas foram realizadas na plataforma de periódicos da CAPES, utilizando artigos revisados por pares e de acesso livre, além do catálogo de teses e dissertações da CAPES, focando em documentos produzidos entre 2014 e 2025. Foram empregados os operadores booleanos AND, OR e NOT, juntamente com as palavras-chave: “biorretenção”, “Bioretention”, “jardim de chuva”, “rain garden”, “substrato”, “substrate”, “filtro”, “filter”, “adsorção”, “sorption” e “Brazil”.

Na primeira seleção, foram lidos títulos e resumos, excluindo duplicatas, trabalhos de revisão de literatura, monografias e documentos cujos títulos e resumos não estavam alinhados ao objetivo central da pesquisa, que é a biorretenção, incluindo jardins de chuva com subprodutos. Na segunda seleção, realizou-se a leitura completa dos documentos previamente selecionados, aplicando critérios de exclusão adicionais, como estudos que abordavam apenas outros sistemas de biorretenção sem focar em jardins de chuva e documentos que não tinham acesso completo.

Dos artigos escolhidos para análise, foram extraídos dados sobre os tipos de subproduto utilizado, a posição de uso, a espessura da camada e a eficiência do sistema em relação a fatores hidráulicos e de qualidade da água, além das dificuldades encontradas. Os resultados foram processados e apresentados em tabelas, gráficos e textos que discutem os achados, com o objetivo de identificar padrões ou lacunas nessa área de pesquisa.

Resultados e discussão

A análise dos resultados mostra que os subprodutos têm sido estudados como opções para substituir os meios filtrantes e substratos convencionais em sistemas de biorretenção. Esses subprodutos, tem origem de diversos setores, como agricultura, indústria e construção civil, e não apenas apresentam viabilidade técnica, mas também oferecem contribuições importantes como a remoção de poluentes. A Figura 1 apresenta a distribuição das produções ao longo do tempo em função do local de uso do subproduto na estrutura do sistema de biorretenção (substrato ou meio filtrante ou de armazenamento). Os anos de 2019 a 2021 apresentaram maior número de produções, da mesma forma que os trabalhos com inclusão de subprodutos no meio filtrante.

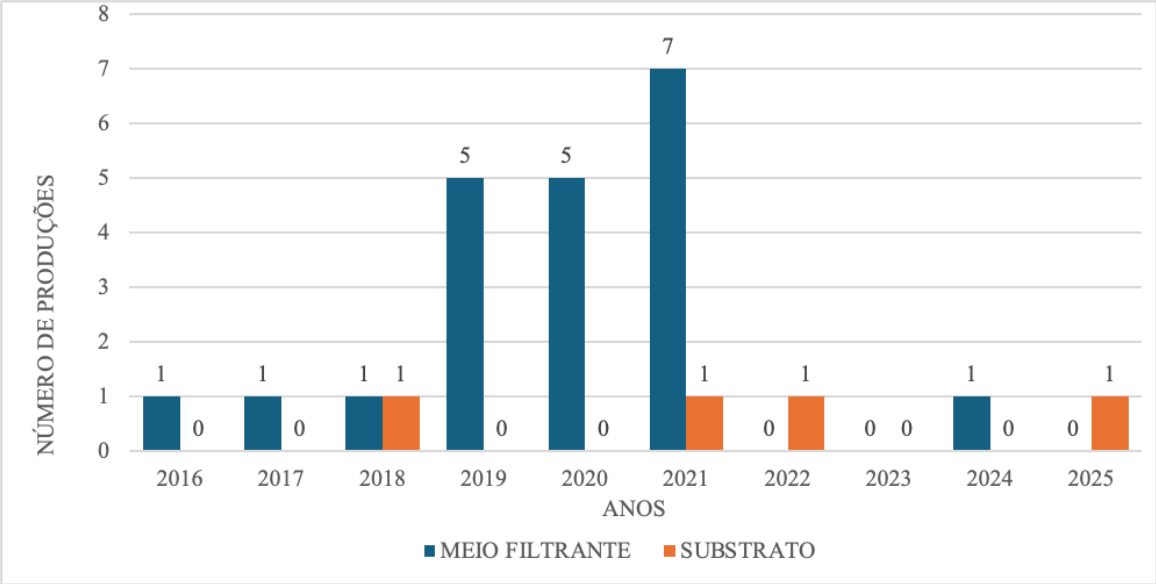


Figura 1 – Distribuição das produções em função do uso do subproduto na estrutura do sistema de biorretenção: substrato ou meio filtrante
Fonte: Autores (2025).

O Quadro 1 apresenta os resultados de subprodutos inseridos no substrato em sistemas de biorretenção, indicando que dentre os 4 documentos encontrados 2 foram produzidos no Brasil, 1 na China e 1 nos Estados Unidos.

Quadro 1. Trabalhos desenvolvidos com subprodutos incorporados à camada de substrato no sistema de biorretenção.

Autor (Ano)	Subprodutos Utilizados	Poluentes Removidos e outros parâmetros
2025, Sousa et al	Fibra de coco	Fósforo (P); Nitrato (NO_3^-); Nitrito (NO_2^-); e Amônia (NH_3/NH_4^+).
2022, Pivetta	Cana-de-açúcar	Sólidos Suspensos Totais (SST), Nitrito, Nitrato e Fosfato.
2021, Zang et al.	Cascas de árvores e cavaco de madeira.	Nitrogênio amoniacal (NH3-N), nitrogênio nitrato (NO3-N), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e carbono orgânico total (COT); e metais pesados como cobre (Cu) e zinco (Zn).
2018, Cheaha et al	NZF (cuja composição exata não foi especificada)	Este estudo não mencionou monitoramento de poluentes, porém, destacou a melhoria no crescimento das plantas.

Fonte: Autores (2025).

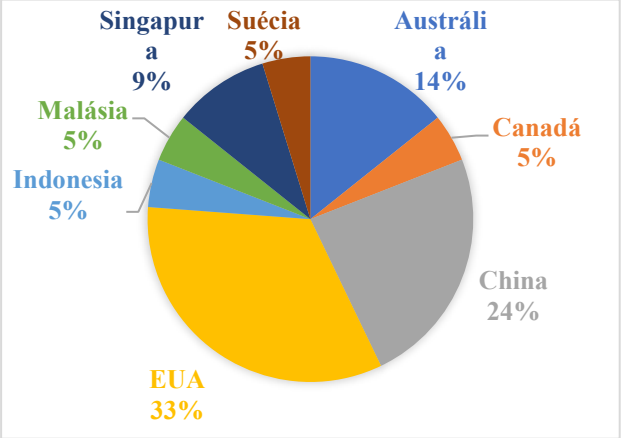
Sousa et al. (2025) teve foco no crescimento vegetacional e avaliou altura, diâmetro do caule, número de folhas e estresses ambientais em um sistema com uso de subproduto e outro convencional, tendo observado que a fibra de coco não alterou significativamente o desempenho das espécies, mas contribuiu para boa retenção de umidade e estruturação do substrato. O trabalho de Cheaha (2018) também teve como foco o crescimento da vegetação e observou que as plantas no sistema como subproduto apresentou maior massa de raízes/parte aérea, maior altura e melhor saúde do que as plantas cultivadas no sistema convencional.

Pivetta (2022) e Zang et al (2021) deram destaque para a remoção de poluentes e parâmetros hidráulicos como uso de subprodutos no substrato. Pivetta (2022) que o bagaço de cana-de-açúcar contribuiu para a redução do nitrato, fosfato, SST, cor aparente, assim como para a redução da turbidez com média de 56% menor do que a convencional. Observou também que a diversidade de plantas em sistemas de biorretenção aumenta a redução do fluxo e a remoção de poluentes em climas tropicais. Zang et al. (2021) utilizou cascas de árvores e cavacos de madeira, e destacou que além da remoção de nitrogênio amoniacal, nitratos, fósforo total, houve retenção de metais pesados, como cobre e zinco.

Esses resultados comprovam que subprodutos vegetais podem desempenhar um papel importante na contribuição de remoção de contaminantes e no crescimento e manutenção da vegetação, ressaltando a importância de continuar explorando a

relação entre subprodutos e o desempenho ecológico em sistemas de biorretenção.

A literatura analisada revelou uma ampla variedade de subprodutos aplicados também no meio filtrante, e neste estudo agrupamos em duas categorias principais: Origem agrícola (orgânicos) e industrial e da construção civil destacados na Figura 2, indicando que os Estados Unidos e China se destacam em número de produções e que a maioria dos trabalhos tem como foco o uso de subprodutos de origem agrícola. Nesse sentido esses sistemas têm um foco maior na remoção de poluentes, tendo menor relevância a detenção da água no sistema de biorretenção. Os Quadros 2 e 3 apresentam a relação dos estudos.



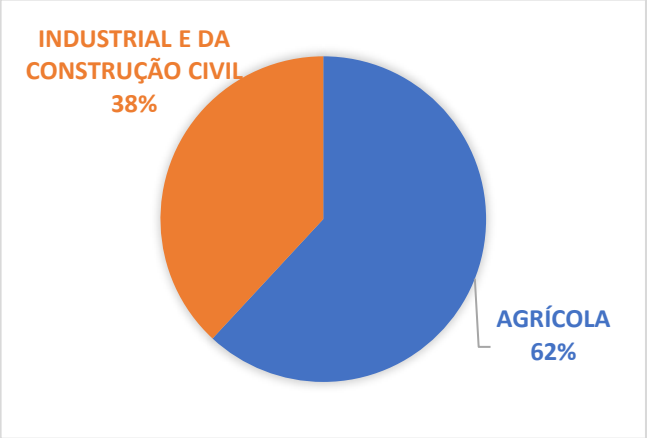


Figura 2. Distribuição dos países com estudos com inserção de subprodutos no meio filtrante e a origem desses produtos em sistemas de biorretenção

Figura 2a – Distribuição das produções em função dos países em que foram desenvolvidos

Figura 2b – Distribuição da produção em função da origem o subproduto

Fonte: Autores (2025).

Quadro 2. Documentos com subprodutos originados da indústria e construção civil utilizados no meio filtrante.

Autor (Ano)	Subproduto Utilizado	Poluentes Removidos e outros parâmetros
2021, Zang et al	Carvão ativado produzido com lodo de Estação de tratamento de água.	Avaliou a ocorrência de espécies bacterianas dominantes encontradas em todos os sistemas de biorretenção
2021, Alam et al.	Agregado de Concreto Reciclado (ACR), vidro triturado e casca de arroz	Nitrato, Ortofosfato, SST, Microplásticos e E. coli
2021, Hamedani et al.	Vidro reciclado, biossólidos, resíduos verdes, cobertura morta de madeira nobre e ferro.	SST, Ortofosfato, Fósforo Total, Íon fosfato, Nitrato, Nitrogênio Total, e metais pesados, como Cobre, Zinco e Chumbo
2020, Rahman et al.	Cascalhos e areia aditivada com biochar	Nitrogênio Amonical Total e E.coli
2019, Li et al	Resíduos de construção	Nitrogênio e outros poluentes
2019, Sari et al	Areia de quartzo e zeólita	Metais pesados e amônia
2017, Björklund; Li	Carvão ativado produzido a partir de lodo de esgoto	Ácidos húmicos
2016, Rahman et al	Asfálticos recuperados e tijolos britados	SST, Fósforo Total e Nitrogênio Total.

Fonte: Autores (2025).

Os estudos sobre subprodutos revelam uma remoção de SST entre 82–92% (Rahman et al, 2016), remoção de NT variando de 59–72% (Rahman et al e 2016) podendo ser > 90% (Rahman, 2020) e variando de 8,3% a 73% (Hamedani, 2021), em função do subproduto utilizado e da mistura analisada. Quanto a remoção de fósforo tem-se variou de 61% a 83,8% (Hamedani, 2021 e Rahman et al, 2016. Segundo Hamedani (2021) foi possível obter Chumbo com remoção média de 99%; Zinco com remoção média de 93%; Cobre com remoção média de 68%; Cobre dissolvido com aumento significativo na remoção após uso de vegetação, -71% para 57%. Segundo Barron et al. (2020) em águas pluviais a remoção de COT varia de 20 a 39%. Rahman et al (2016) e Björklund; Li (2017) obtiveram condutividade hidráulica variando de 47–124mm/h.

Observa-se que o aumentando a profundidade do meio filtrante influencia na remoção de poluentes. Segundo Rahman et al (2016), profundidade de 20 a 30 cm garantem uma remoção de 100% para SST, para NT de 30cm a 90cm e para PT de 30cm a 1,10m. Observou-se também que embora as raízes das plantas reduzam o entupimento ao criar caminhos de fluxo preferenciais, o tamanho e a densidade da massa radicular nesta fase do projeto podem ter reduzido às taxas de infiltração.

Quadro 3. Documentos com subprodutos agrícolas utilizados no meio filtrante.

Autor (Ano)	Subproduto Utilizado	Poluentes Removidos e Outros Parâmetros Monitorados
2024, Woon et al.	20% de solo superficial (topsoil), 60% de areia de rio fina e 20% de composto orgânico	SST, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio
2021, Zinger et al.	Lascas de madeira de eucalipto e palha de ervilha	SST, Nitrogênio Total, amônia, óxidos de nitrogênio e Fósforo Total.
2021, Wang et al.	Bagaço de cana-de-açúcar e biochar	Nitrogênio amoniacal, Nitrato, Nitrogênio orgânico dissolvido, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Demanda Química de Oxigênio, SSTe Óxido Nitroso.
2021, Lim et al.	Fibras de coco e resíduo de tratamento de água	Fósforo Total, Nitrogênio Total, SST, e metais pesados, como Cobre, Chumbo, Cádmio e Zinco.
2021, Jing et al.	Casca de pinus triturada	Nitrato, Fósforo Total e Demanda Química de Oxigênio
2020, Soberg et al.	Aparas de madeira de pinus	Fósforo Total, Fósforo Dissolvido, SST, Íon de Cloreto, Temperatura e Salinidade.
2020, Morgan et al.	Cascas de avelã, cascas de noz-pecã e grãos residuais de cerveja	Cobre e Zinco
2020, Lopez-Ponnada	Lascas de madeira	remoção de nitrogênio dissolvido
2020, Barron et al	Cavaco de madeira	Remoção de fósforo e nitrogênio
2019, Wan et al	Lascas de madeira	Avaliou parâmetros hidráulicos
2019, Steven	Compostos orgânicos reciclados e Biochar	Nitrogênio Oxidável Total, Ortofosfato, Fósforo Total. Metais pesados: Cobre , Zinco e Chumbo. Outros parâmetros: Turbidez, Carbono Orgânico Total, Óleos e graxas totais, pH, E.coli, Oxigênio Dissolvido.
2019, Berger et al.	Cavacos de madeira e biochar	Condutividade hidráulica saturada, Nitrato, pH, OD, absorbância UV254 e Carbono Orgânico Dissolvido
2018, Wan et al	Lascas de madeira	nitrogênio total (NT), nitrogênio total dissolvido (NTD), NOx−N (nitrito e nitrato) e NH4−N.

Fonte: Autores (2025).

O estudo de Woon et al. (2024), utilizou solo superficial (topsoil), areia de rio e composto orgânico, demonstrou uma boa remoção de sólidos suspensos totais, nitrogênio e fósforo, destacando a importância da combinação de materiais para otimizar o tratamento. Observou também uma redução no pico de vazão variando de 75,4% sem vegetação, a 78,4% com monocultura a 82% com diversas espécies. O desenvolvimento das raízes vegetais favorece a formação de microporos, favorecendo o fluxo preferencial, entretanto quando muito fibrosas ajudam a reter água nas camadas superiores. Raízes pivotantes aumentam a drenagem profunda. A combinação de diferentes tipos de raízes otimizou a performance hidrológica, equilibrando drenagem profunda com retenção superficial e aumentando as perdas por evapotranspiração

Zinger et al. (2021), Wang et al (2021), Lim, et al (2021), Soberg et al (2020) e Wan et al, 2018 em seus estudos evidenciaram um desempenho significativo na remoção de nitrogênio e fósforo, promovendo a sustentabilidade e valorização dos resíduos agrícolas. A remoção dos poluentes foi acima do padrão observado em meios convencionais. Wang et al (2021) percebeu que a remoção em dias secos é superior em dias secos para Amônio, Nitrogênio total, Fósforo total. Comparando o meio convencional e o modificado o uso de subprodutos favoreceu a remoção de NO_3^--N, Nitrogênio Total. Lin et al (2021) e Jin et al (2021) obtiveram remoção de SST: 94 a 95%; Fósforo total (PT:) de 36,8 a 91,5%; Nitrogênio amoniacal até 96,6%; Nitrogênio Total de 31 a 94%; DQO: 9,6%; Metais pesados: Zn: até 98%; Cu: até 94%; Cd: até 99% e Pb: até 92%. Wan et al, 2018 verificou que lascas de madeira inibiu com sucesso a lixiviação de nitrogênio

A pesquisa de Steven (2019) sobre compostos orgânicos reciclados e biochar destacou a capacidade desses materiais em remover uma ampla gama de poluentes, incluindo metais pesados como cobre, zinco e chumbo, além de turbidez e carbono orgânico total. Berger et al. (2019) adicionou cavacos de madeira e biochar para melhorar os parâmetros de condutividade hidráulica e pH, o que contribui para a saúde dos ecossistemas aquáticos.

O biochar, em particular, mostrou-se eficaz na sorção de nitrogênio e fósforo, além de contribuir para a melhoria da qualidade da água, sugerindo oferecer benefícios adicionais, como a estabilização de carbono no solo e soluções que mitigam os impactos ambientais da urbanização.

Conclusão

A utilização de subprodutos nos substratos e no meio filtrante de sistema de biorretenção, sendo mais específico em jardins de chuva é uma estratégia sustentável para gerenciar águas pluviais urbanas, reduzindo a poluição e promovendo o reaproveitamento de materiais, o que minimiza custos e o uso de recursos naturais, como a brita por exemplo.

A literatura mostrou o uso de subprodutos em sistemas de biorretenção como o jardim de chuva promissor, porém, os

estudos em sua maioria, foram feitos em experimento laboratoriais carecendo de sua inserção nos meios urbanos, onde se faz mais necessário. A principal barreira é a ausência de regulamentações e normas técnicas específicas que garantam o uso seguro desses materiais em sistemas de drenagem urbana.

Um ponto a ser observado é a diversidade na composição química dos resíduos pode gerar incertezas sobre sua estabilidade e o risco de lixiviação para camadas internas do solo ou recursos hídricos. Outro fator a ser acrescentado é a disponibilidade local desses subprodutos e a aceitação por gestores públicos, também influenciam a escalabilidade desses sistemas. Diante desses desafios, é fundamental que futuras pesquisas se concentrem em ensaios em estudos de campo, como o monitoramento em longo prazo e avaliação do ciclo de vida dos materiais. O desenvolvimento de marcos regulatórios que normatize e traga segurança e padronização do jardim de chuva em projetos urbanos.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFES pelo suporte institucional.

Referências

Alam, T., Bezares-Cruz, J. C., Mahmoud, A., & Jones, K. D.; 2021. Nutrients and solids removal in bioretention columns using recycled materials under intermittent and frequent flow operations. Journal of Environmental Management, v. 297, p. 113321.

Barron, N. J., Hatt, B., Jung, J., Chen, Y., & Deletic, A.; 2020. Seasonal operation of dual-mode biofilters: the influence of plant species on stormwater and greywater treatment. Science of the Total Environment, v. 715, p. 136680.

Berger, A. W., Valenca, R., Miao, Y., Ravi, S., Mahendra, S., & Mohanty, S. K.;2019. Biochar increases nitrate removal capacity of woodchip biofilters during high-intensity rainfall. Water research. v. 165, p. 115008, 2019.

Björklund, K; Li, Loretta. 2017. Removal of organic contaminants in bioretention medium amended with activated carbon from sewage sludge. Environ Sci Pollut Res, v.24, p. 19167–19180

Cheah, J., Brockbank, T., Simcock, R., & Hannah, M.;2018. New Zealand plant growth trials in rapid bio-filtration media. Water Practice & Technology, *13*, n.1, 229-236.

Hamedani, A.S, Bazilio, A., Soleimanifar, H., Shipley, H., & Giacomoni, M; 2021. Improving the treatment performance of low impact development practices—Comparison of sand and bioretention soil mixtures using column experiments. Water, v. 13, n. 9, p. 1210.

Jing, Y. et al; 2021. Design and performance of urban sponges in red soil: improvement of physical and chemical properties. Journal of Water and Climate Change, v. 12, n. 2, p. 371-383.

Li, H. et al. 2019. Immobilization of nitrifying/denitrifying bacteria onto construction waste and the elimination of pollutants from stormwater runoff. Desalination and Water Treatment, v.152, p. 82–91

Lim, F. Y. et al; 2021. Pilot and field studies of modular bioretention tree system with taliparitiliaceum and engineered soil filter media in the tropics**.** Water, v. 13, n. 13, p. 1817.

Lopez-Ponnada, E.V. et al. (2020) Long-term field performance of a conventional and modified bioretention system for removing dissolved nitrogen species in stormwater runoff. Water Research, v. 170, p.115336

Morgan, C., Poor, C., Giudice, B., & Bibb, J.; 2020. Agricultural byproducts as amendments in bioretention soils for metal and nutrient removal. Journal of Environmental Engineering. v. 146, n. 6, p. 04020029.

Okoli, C.; 2019. Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. EAD em Foco, v. 9, n. 1.

Pivetta, G.G; 2022. Remoção de poluentes e controle quantitativo de águas pluviais através de biorretenções. Tese. Manancial Repositório Digital da UFSM. 187 p. 30cm.

Rahman, M. A., Imteaz, M. A., & Arulrajah, A.; 2016. Suitability of reclaimed asphalt pavement and recycled crushed brick as filter media in bioretention applications. International Journal of Environment and Sustainable Development, v. 15, n. 1, p. 32-48.

Rahman, M. Y. A., Nachabe, M. H., & Ergas, S. J.; 2020. Biochar amendment of stormwater bioretention systems for nitrogen and Escherichia coli removal: Effect of hydraulic loading rates and antecedent dry periods. Bioresource Technology, v. 310, p. 123428.

Sari, A.Y., et al. 2019. Enhancing removal efficiency of heavy metals and ammonia in bioretention system using quartz sand and zeolite as filter media. In: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 536 012071

Søberg, L. C., Al-Rubaei, A. M., Viklander, M., & Blecken, G. T.; 2020. Phosphorus and TSS removal by stormwater bioretention: effects of temperature, salt, and a submerged zone and their interactions. Water, Air, & Soil Pollution, v. 231, p. 1-12.

Sousa, V. H. F. et al; 2025. Bench-scale bioretention systems: Potential of substrates with and without coconut fiber for plant growth development. Journal of Environmental Management, v. 377, p. 124512.

Steven, A.L, Lee, C. C., & Love, E.; 2019. Characterising recycled organic and mineral materials for use as filter media in biofiltration systems. *Water*, *11, n.* 5, 1074.

Wang, H., Sun, Y., Zhang, L., Wang, W., & Guan, Y.; 2021. Enhanced nitrogen removal and mitigation of nitrous oxide emission potential in a lab-scale rain garden with internal water storage. Journal of Water Process Engineering, *42*, 102147.

Wang, J., Chua, L. H., & Shanahan, P.; 2019. Hydrological modeling and field validation of a bioretention basin. Journal of environmental management, v. 240, p. 149-159.

Wan, Z., Li, T., & Liu, Y.; 2018. Effective nitrogen removal during different periods of a field-scale bioretention system. Environmental Science and Pollution Research, *25*, 17855-17861.

Woon, K. L. et al; 2024. A Pilot-Scale Bioretention System for Urban Stormwater Treatment Under Tropical Conditions: Influence of Vegetation and Sizing Area. Water Conservation Science and Engineering, v. 9, n. 2, p. 76.

Zhang, Z., Li, J., Li, Y., Wang, D., Zhang, J., & Zhao, L.; 2021. Assessment on the cumulative effect of pollutants and the evolution of micro-ecosystems in bioretention systems with different media. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 228, p. 112957.

Zhang, Z. et al. 2021. Assessment on the cumulative effect of pollutants and the evolution of micro-ecosystems in bioretention systems with different media. Ecotoxicology and Environmental Safety, v.228, p.112957

Zinger, Y. et al; 2021. The effect of intermittent drying and wetting stormwater cycles on the nutrient removal performances of two vegetated biofiltration designs. Chemosphere, v. 267, p. 129294.

— RESUMOS —

Recursos Hídricos: Planejamento, Gestão, Aproveitamento, Políticas e Estudos Avaliativos

8º SSS

POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS NA FRANÇA: ALINHAMENTO AOS PRINCÍPIOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

1Sidnei Samuel Pereira, 2Muriel da Silva Folli-Pereira

1Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: sidnei.s.pereira@edu.ufes.br; 2Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: muriel.folli@unemat.br

Palavras-chave: Sustentabilidade; Crescimento econômico; Política Hídrica.

Resumo Expandido

Introdução

O início do século XX foi marcado por um elevado grau de desenvolvimento econômico em diversos países da Europa, como a França. Este período foi caracterizado por um modelo de crescimento que evidenciava um elevado padrão de consumo da população francesa e altas taxas de crescimento econômico. À medida que a projeção de desenvolvimento se alinhava apenas com o crescimento econômico, que levava cada vez mais ao esgotamento dos recursos naturais, a ciência começava a questionar, já na década de 40, o “desenvolvimento” sob o aspecto unidimensional, centrado apenas no acúmulo de capital, passando a defender o uso sustentável destes recursos (Adrangi; Kerr, 2022).

O relatório "Brundtland", intitulado "Nosso Futuro Comum", em 1987, popularizou o conceito de desenvolvimento sustentável ao definir como "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades" (Grober, 2007).

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a política de gestão de recursos hídricos na França, destacando seu alinhamento aos princípios do desenvolvimento sustentável. De forma específica, busca-se: 1- Examinar os fundamentos legais e institucionais da política hídrica francesa, com ênfase na Lei das Águas (1964 e 2006) e na aplicação da Diretiva Quadro da Água da União Europeia (2000); 2- Identificar como os três pilares da sustentabilidade — econômico, ambiental e social — estão incorporados na gestão dos recursos hídricos na França; 3- Avaliar os principais instrumentos de gestão adotados, incluindo mecanismos de cobrança, participação social e conservação ambiental; 4- Discutir os desafios contemporâneos enfrentados pela política hídrica francesa no contexto das mudanças climáticas e da preservação dos ecossistemas aquáticos; 5-Contribuir para o entendimento de modelos de gestão sustentável da água que integrem eficiência, equidade e proteção ambiental..

Aspectos metodológicos

A presente pesquisa foi conduzida a partir de uma abordagem qualitativa, com caráter exploratório e analítico. Utilizou-se o método de análise documental e comparativa, com foco em legislações, diretrizes institucionais e instrumentos de gestão relacionados à política de recursos hídricos na França. As fontes analisadas incluíram documentos legais, como a Lei Francesa das Águas (1964 e 2006), a Diretiva Quadro da Água da União Europeia (2000) e a Lei nº 9.433/1997 do Brasil, além de publicações acadêmicas e relatórios técnicos de organismos governamentais e internacionais. A análise buscou identificar o alinhamento das políticas hídricas aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Política de Recursos Hídricos na França: um modelo de gestão baseado no desenvolvimento sustentável

Partindo dos princípios do desenvolvimento sustentável, a França tem promovido políticas ambientais ao longo das décadas, especialmente com a criação de legislações e políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável, dentre elas a Política de Recursos Hídricos. Muito embora o termo “desenvolvimento sustentável” tenha se popularizado apenas em 1987 (Feil; Schreiber, 2007) a preocupação com o desenvolvimento sustentável na França já era evidenciada na década de 1960, em resposta a crescentes preocupações ambientais, especialmente em relação aos recursos hídricos, o que ensejou, ainda nesta década, na estruturação formal de sua Política Hídrica.

Um marco importante foi a Lei Francesa das Águas de 1964, que estabeleceu um quadro legal para a gestão dos recursos hídricos no país (France, 1964). Essa lei introduziu a ideia de uma gestão integrada da água, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais. Os debates em torno dessas questões prosseguiram durante toda a década de 70, contribuindo para a emergência de novas propostas que buscavam combinar crescimento econômico e defesa do meio ambiente.

Desde a década de 1970, partes da Europa (Reino Unido e Suécia) já haviam demonstrado interesse em padronizar medidas ambientais para combater os problemas de qualidade da água transregionais. Mas foi apenas durante a década de 1990 que uma grande variedade de peritos, gestores e partes interessadas iniciaram discussões para elaborar um sistema de gestão de recursos hídricos único para a União Europeia. Essas discussões e as legislações que já existiam nos Estados Membros da UE sobre recursos hídricos resultaram no estabelecimento da Diretiva Quadro d'Água pelo Parlamento Europeu em dezembro de 2000 (União Europeia, 2000).

Neste contexto, a França reforçou sua política hídrica com a implementação da Diretiva Europeia de Água, que buscou proteger as águas superficiais e subterrâneas, promovendo uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Ademais, em 2000, a

Lei das Águas francesa foi reformulada para incluir medidas mais rigorosas de proteção e gestão, adaptando-se às diretrizes da União Europeia. Desde então, a política hídrica francesa tem evoluído para enfrentar desafios contemporâneos, como as mudanças climáticas, já que importantes rios, como o Sena, desempenham um papel relevante na vida econômica do país.

Na França, a água é considerada um bem comum essencial à vida, sendo imprescindível que seu uso seja realizado de maneira sustentável. Essa abordagem visa garantir a disponibilidade desse recurso vital, tanto para as atuais, quanto para as futuras gerações. Em razão dessa premissa, a política hídrica do país é conduzida com base nos princípios do desenvolvimento sustentável. Ao adotar essa perspectiva, a França busca atender aos três pilares fundamentais do desenvolvimento sustentável: a sustentabilidade econômica, a sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade social. A sustentabilidade econômica se reflete na gestão eficiente dos recursos hídricos, promovendo investimentos que garantam o acesso à água de qualidade para toda a população. A sustentabilidade ambiental, por sua vez, implica na preservação dos ecossistemas aquáticos e na proteção das fontes de água, assegurando que a natureza permaneça equilibrada e saudável. Por fim, a sustentabilidade social é manifestada pelo compromisso em garantir que todos os cidadãos tenham acesso equitativo à água, promovendo justiça social e inclusão.

Assim, a gestão hídrica na França exemplifica um modelo que busca equilibrar o uso dos recursos naturais com a necessidade de preservação, evidenciando a importância da água como um patrimônio coletivo que deve ser respeitado e protegido. Para isso, atualmente a gestão das águas francesa envolve um conjunto de leis abarcadas, principalmente, pelo código ambiental. Os regulamentos e leis deste código ambiental contemplam a gestão dos recursos hídricos, bem como, abrangem a proteção e prevenção da poluição das águas e ao seu uso sustentável. A Lei n.º 2006-1772, que alterou o Código do Meio Ambiente, é a principal legislação que rege a gestão das águas na França (France, 2006). Ela estabelece princípios para a proteção dos recursos hídricos, incluindo a prevenção da poluição e a gestão integrada das bacias hidrográficas.

A respeito das entidades encarregadas pela gestão da água na França, uma das mais relevantes é a Agência Francesa de Biodiversidade (AFB). Essa agência foi criada em 2017, abarcando todos os funcionários que faziam parte de outros quatro órgãos ambientais, dentre eles, os da água, e tem a função aumentar as políticas de conservação e gestão dos recursos naturais, como a água, bem como, de supervisionar a sua eficaz implementação.

Na França, além da AFB, há também as agências de água. Para cada uma das seis bacias hidrográficas francesas, a Lei das Águas de 1964 criou as Agências de Águas e os Comitês de Bacia Hidrográfica. No nível de cada bacia ou grupo de bacias deve ser criado um comitê composto em partes iguais por representantes de diferentes categorias de usuários e pessoas competentes, representantes designados pelas comunidades locais e representantes administrativos. As Agências de Água são os órgãos executivos responsáveis pela implementação da política desenvolvida pelos comitês de bacia, com foco na proteção dos recursos hídricos e ambientes aquáticos, bem como, na redução da poluição proveniente de diversas fontes. São os produtores e gestores de dados e monitoramento de redes de água, da qualidade das águas naturais ao lado do ONEMA – órgão responsável pela condução e implementação do sistema nacional de informação sobre a água (France, 2008).

Estes instrumentos econômicos de gestão fizeram as agências de água da França alavancarem a gestão sustentável dos Recursos Hídricos, e para atingir o bom estado das águas estabeleceram algumas prioridades alinhadas com os princípios do desenvolvimento sustentável, como a redução das emissões de poluentes de todas as fontes, desenvolvimento sustentável das atividades econômicas que dependem de água, preservação e restauração dos ecossistemas aquáticos e zonas úmidas, controle de cheias, solidariedade humanitária e cooperação internacional, informação e sensibilização pública, educação para a gestão sustentável, conservação da água e ambientes aquáticos (Braga; Ferrão, 2015).

O modelo de Gestão de Recursos Hídricos francês influenciou diversos aspectos da Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil. O exemplo mais claro envolve o instrumento de cobrança pelo uso da água, já instituído pela França há mais de 30 anos, e implementado pelo Brasil através da Lei n.° 9.433/1997. Já abastecimento de água francês é conduzido por diversas companhias, que podem ser públicas ou privadas, e são atualmente estabelecidos sete tipos de cobrança pelo uso da água pela Lei n.° 2006-1772 (France, 2006): cobrança pela captação de água; cobrança pela poluição da água; cobrança pela modernização das redes de coleta de esgoto; cobranças pelas poluições difusas; cobrança pelo armazenamento de água em período de estiagem; cobrança pelos obstáculos em cursos de água (barramentos) e cobrança pela proteção dos ecossistemas aquáticos.

Considerações finais

A sustentabilidade hídrica na França fica evidenciada pela ênfase que se dá em sua Política e Gestão das Águas à necessidade de considerar um futuro de longo prazo da mesma forma que o presente. Para tanto, a sua Política Hídrica foi projetada e gerenciada para contribuir com os objetivos atuais e futuros da sociedade e da economia, garantindo, ao mesmo tempo, a integridade ambiental, ecológica e hidrológica dos ecossistemas aquáticos.

Tudo isso está bem claro na legislação francesa, que enfatiza a prevenção da poluição das águas e a necessidade de proteger os ecossistemas aquáticos. Isso inclui a regulação de emissões de poluentes e a promoção de práticas agrícolas e industriais sustentáveis e em matéria de águas está alinhada com as diretrizes da União Europeia, especialmente a Diretiva Quadro da Água de 2000, que estabelece metas ambiciosas para a proteção, melhoria e uso sustentável dos recursos hídricos em todos os Estados-Membros. Assim, o modelo francês evidencia-se como uma referência internacional na gestão hídrica sustentável, integrando políticas ambientais robustas com mecanismos de governança participativa e instrumentos econômicos eficazes.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Universidade Federal do Espírito Santo e à Universidade do Estado de Mato Grosso pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ADRANGI, B.; KERR, L. Sustainable Development Indicators and Their Relationship to GDP: Evidence from Emerging Economies. **Sustainability**, v. 14, p. 658, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su14020658.

BRAGA, L.M.M.; FERRÃO, A.M. de A. Gestão dos recursos hídricos na França e no Brasil com foco nas bacias hidrográficas e seus sistemas territoriais. **Labor & Engenho**, v.9, n.4, p. 19-33, out./dez. 2015.

FEIL, A.A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobre posições e alcances dos seus significados. **Cad. EBAPE**, v. 14, n° 3, Artigo 7, Rio de Janeiro, jul/set., 2007.

FRANCE. **Loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964.** Relative à la lutte contre la pollution des eaux et à la protection des ressources en eau. Disponível em: https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006068236. Acesso em: 03 de novembro de 2024.

FRANCE. **Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006**. Sur l'eau et les milieux aquatiques. Disponível em: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006055130&dateTexte=vig. Acesso em: 30 de outubro de 2024.

FRANCE. **France Nature Environnement. La Gestion de L'Eau em France.** 2008. Disponível em: http://www.fne.asso.fr/breves_pdf/eau/dossier_gestioneaufrance.pdf. Acesso em: 30 de outubro de 2024.

GROBER, U. Deep Roots: **A Conceptual History of "sustainable Development" (Nachhaltigkeit)**. Discussion papers, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. Berlin: WZB, 2007.

PRADA, E.M. The Relationship between Sustainable Development Goals and Migration. An EU-28. **Perspective. J. Soc. Econ. Stat.**, 9, 28-45, 2020.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 23 de outubro de 2000, que estabelece um quadro comunitário para a política da água. Jornal Oficial da União Europeia, L 327, p. 1-73, 22 dez. 2000.

SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DEL AGUA Y SU GESTIÓN MUNICIPAL: EL CASO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA (SANTANDER - COLOMBIA)

1Jhan Carlos Alvernia Vergel, 2Mariana Zanotti Tavares de Oliveira, 3Juan Manuel Carvajalino Fernandéz

1Programa de especialización en Gestión del Recurso Hídrico Universidade Incca de Colombia, Carrera 13 # 24 -15, Bogotá, Colombia, e-mail: jcalverniav@unincca.edu.co; 2BIOMA: Biotecnología y Medio Ambiente, Programa de Biología, Universidade Incca de Colombia, Carrera 13 # 24 -15, Bogotá, Colombia, e-mail: marianazanotti.tavares@unincca.edu.co; 3Laboratory of adaptations to extreme environments and global change biology, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Avenida Cra 30 #45-3, Ciudad Universitaria, AA 14490, Bogotá, Colombia, e-mail: jmcarvajalinof@unal.edu.co

Palavras-chave: Recursos hídricos; Plan de ordenamiento territorial; Ecosistemas urbanos.

Resumo Expandido

Colombia posee una alta disponibilidad del recurso hídrico; sin embargo, su aprovechamiento sostenible requiere una Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) que articule los distintos subsistemas (ecológico, económico, político, normativo) en múltiples escalas (local, regional y nacional). En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la gestión urbana del agua en el municipio de Bucaramanga, identificando sus fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora. La metodología consistió en una revisión documental y análisis de políticas, planes de desarrollo y estudios técnicos producidos por actores institucionales relevantes. El estudio se estructura en tres secciones: (1) Políticas y manejo del recurso hídrico en el municipio de Bucaramanga; (2) La articulación entre lo urbano y lo extraurbano en la visión de cuenca; y (3) Reflexiones finales desde la perspectiva de la sustentabilidad ambiental del agua.

En este orden, proponemos necesariamente analizar ecosistemas regionales que comparten varios departamentos del país, y, asimismo, analizar subcuencas de la región que no pertenecen precisamente a la circunscripción municipal de Bucaramanga. Es decir, al revisar la *Gestión Municipal* del agua en Bucaramanga, el presente análisis pretendió responder, por lo menos, a las siguientes tres preguntas: (1) ¿cuáles son las políticas que rigen dicha gestión local? (2) ¿Cuáles son los lineamientos del municipio —no solo frente a lo local o urbano que es la perspectiva más evidente y/o inmediata— sino frente a lo *Territorial* (extraurbano, cuenca, región)? Y finalmente, (3) ¿cómo podríamos caracterizar dicha gestión local del agua desde la óptica de la sustentabilidad ambiental (sistema sustentable)?

Bucaramanga es una ciudad intermedia con más de 620.000 habitantes (Alcaldía de Bucaramanga, 2024) y forma parte del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), junto con los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta. La ciudad depende de fuentes hídricas localizadas fuera de su jurisdicción política, principalmente de las subcuencas de los ríos Suratá y de Oro, cuyas nacientes se encuentran en ecosistemas estratégicos como el páramo de Santurbán. La gestión del recurso hídrico está compartida entre varias entidades, entre ellas: la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), el AMB S.A. E.S.P. y la EMPAS S.A.

Los planes de desarrollo municipales han abordado parcialmente la protección del recurso, pero con un enfoque limitado a lo intraurbano, privilegiando acciones de infraestructura como la ampliación del alcantarillado (Alcaldía de Bucaramanga, 2020; 2024). La estrategia de GIRH aún no ha sido plenamente adoptada como marco de gestión estructurante. Por ejemplo, el Plan de Desarrollo 2024-2027 no armoniza sus metas con el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Alto Lebrija, lo que revela una desconexión entre escalas y una omisión crítica en cuanto al tratamiento sistémico del recurso (CDMB y Fondo Adaptación, 2020).

El análisis de la gestión del agua en Bucaramanga requiere superar una visión fragmentada. La ciudad actúa más como usuaria del recurso que como gestora de este. La literatura especializada (Fernández, 2000a; 2011) sostiene que la sustentabilidad urbana del agua exige una articulación efectiva entre lo urbano y lo territorial, bajo una lógica de cuenca. Esta perspectiva permite integrar tanto los ecosistemas proveedores como los sistemas receptores de vertimientos.

La subcuenca del río de Oro es una de las más contaminadas del país (MAVDT, 2004), y recibe vertimientos sin tratamiento adecuado por parte del municipio. La postergada construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río de Oro, identificada como solución clave en el Plan de Saneamiento Hídrico Metropolitano (AMB - ONU Hábitat, 2015), representa un desafío estructural pendiente.

Por otro lado, el conflicto socioambiental en el páramo de Santurbán ha motivado cierta movilización institucional, especialmente tras la solicitud de licencia para el proyecto minero Soto Norte (Minesa, 2019; AMB S.A. E.S.P., 2020). Sin embargo, esta respuesta ha sido reactiva y no parte de una estrategia municipal coherente de protección hídrica con visión ecosistémica.

El presente análisis evidencia que la gestión local del recurso hídrico en Bucaramanga es aún incipiente desde la perspectiva de la sustentabilidad. Las políticas públicas no logran incorporar de manera efectiva los principios de la GIRH, ni articulan las escalas territoriales necesarias. A pesar de avances puntuales en educación ambiental y compra de predios

de recarga hídrica, persisten omisiones estratégicas respecto a la planificación intermunicipal, la restauración ecológica y el control de vertimientos.

El agua es uno de los recursos que recibe la mayor presión del desarrollo y crecimiento de las sociedades actuales. En el caso de la ciudad de Bucaramanga, se analizó y describió como la gestión local de su recurso hídrico es ineficaz o inadecuada, ya que las condiciones del manejo del agua no contemplan desde su propia política municipal, el componente escalar o territorial necesario para lograr una serie de acciones integrales y holísticas, desde la perspectiva del tratamiento del agua como primera y segunda naturaleza, entrelazada por los grandes subsistemas actuales: económico, político, normativo y ecológico.

Bucaramanga estableció políticas y metas margínales frente a ecosistemas estratégicos dentro del ciclo hidrológico, y por lo tanto, insuficientes para asegurar el suministro del recurso a sus habitantes. No contempló dentro su gestión municipal el componente escalar extraurbano a la hora de impactar positivamente, no solo los ecosistemas predichos, sino además a las subcuencas y microcuencas como la del río de Oro, que, a pesar de no pertenecer a su circunscripción municipal, vienen sustentado históricamente el desarrollo y crecimiento de la ciudad y la región. Para el caso del páramo de Santurbán (que ha venido teniendo un notorio protagonismo —aunque no significativo— en las políticas de las 3 últimas administraciones locales) solo hasta que una minera multinacional solicitó la licencia para minería de oro a cielo abierto en territorio de páramo, fue que se vino gestando cierta "conciencia ambiental" frente a la influencia del ecosistema páramo en la gestión local del agua, a pesar de estar localizado fuera de los límites político-administrativos de Bucaramanga. No podemos decir lo mismo de la subcuenca río de Oro, receptora de los vertimientos que genera el municipio de Bucaramanga (a pesar de la contaminación masiva y peligros ambientales inminentes, con lo cual la población y sus dirigentes, hoy en día tenderían a ampliar su pensamiento frente a la necesidad de recuperar y proteger las fuentes receptoras, subcuencas y microcuencas de la región), que aún no ha despertado mínimamente la atención de la autoridad municipal: no evidenciamos políticas, metas u objetivos, ni siquiera de manera tangencial, en relación a los impactos a dicha subcuenca, desde la gestión local analizada.

En general, existe una tensión latente entre los usuarios del municipio de Bucaramanga y los usuarios asentados en el territorio de páramo, donde cada uno de ellos tiene posiciones enmarcadas en lógicas distintas. Las racionalidades (conciencia) ambientales de los habitantes del páramo, de los habitantes del Bucaramanga y de los actores que explotan minerales son distintas y obedecen a lógicas diferentes: los habitantes y usuarios del páramo aceptan más carga en su territorio y deterioro del soporte natural a expensas de un desarrollo económico y social local; las ONG's y grupos ambientalistas de la ciudad, están más cerca a un cierto fundamentalismo ecológico que a la gestión del recurso hídrico; y los actores que demandan oro —nacionales o multinacionales — tienen una racionalidad (económica) ligada mas al concepto del hiperconsumo. Ahora: el mejoramiento de la economía de los habitantes de los municipios asentados en el páramo y de las trasnacionales mineras resultado del posible desarrollo de un proyecto minero a gran escala, puede convertirse en mejoramientos relativos (condiciones económicas y sociales mejores a expensas de menos territorio páramo), empeoramientos relativos (deterioro del territorio y de sus subcuencas y microcuencas), trasladados (contaminación del agua que consumen los usuarios) y diferidos (disminución o agotamiento de la escórienla o cauce del recurso hídrico para las futuras generaciones).

Finalmente, la desarticulación de las autoridades ambiéntales, empresas de acueducto y alcantarillado y alcaldía municipal, muestra un grado de des relacionamiento urbano, entre los diferentes actores locales, metropolitanos y regionales: políticas ambiguas, iniciativas contradictorias y responsabilidades convenientes frente a la recuperación, conservación y protección de subcuencas, microcuencas y quebradas receptoras de vertimientos. Valga decir que no se pretende en cualquier caso promover o resaltar un cambio extremo político-técnico (propio del fundamentalismo ecológico) en la ciudad de Bucaramanga, pero si desde la práctica de los sistemas sustentables, proponer cambios profundos en la gestión del desarrollo urbano, para dar paso a una concepción integral de los recursos naturales (GIRH) basada en la sustentabilidad ambiental urbana del agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la *Universidad Incca de Colombia* - *UNINCCA* y al cuerpo docente de la Especialización en Gestión del Recurso Hídrico por sus colaboraciones y aportes en los diferentes ámbitos de la GIRH. La financiación del presente trabajo fue realizada con recursos propios dentro de la ejecución de la Tesis de Grado para obtener el título de *Especialista en Gestión del Recurso Hídrico* de dicha universidad.

Referencias Bibliográficas

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA. 2024. Plan de Desarrollo 2024-2027. Bucaramanga, Colombia

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA. 2020. Plan de Desarrollo 2020-2023. Bucaramanga, Colombia

AMB S.A. ESP. 2020. Primer Informe de Observaciones al Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto de Explotación de Minerales Auroargentíferos "Soto Norte". Bucaramanga, Colombia

AMB S.A. ESP. 2019. Gestión Integral. Bucaramanga, Colombia

CDMB y FONDO ADAPTACIÓN. 2020. POMCA Río Alto Lebrija. Actualización. Bucaramanga, Colombia

CDMB. 2014. PGAR - Plan de Gestión Ambiental Regional. Geodim. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB. Bucaramanga, Colombia

CDMB. 2012. Estudio Páramo de Santurbán. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia

CONSORCIO DISEÑOS PTAR RÍO DE ORO. 2023. Estudio de Impacto Ambiental para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río de Oro. Resumen Ejecutivo. Bucaramanga, Colombia

Decreto 1640 de 2012. "Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones". Colombia

Fernandez, R. 2011. Introducción a la Teoría y Metodología de la Gestión Ambiental Urbana. Texto de la Carrera de Especialización en Gestión Ambiental Metropolitana FADU-UBA. Buenos Aires, Argentina

Fernandez, R. 2000a. La Ciudad Verde. Teoría de la Gestión Ambiental Urbana. Primera Edición. CIAM. Editorial Espacio. Argentina

Fernandez, R. 2000b. Gestión Ambiental de Ciudades. Teoría Critica y Aportes Metodológicos. Primera Edición. PNUMA. Editorial Tipos Futura. México D.F.

IDEAM. 2019. Estudio Nacional del Agua 2018. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia

MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá D.C., Colombia

MINESA. 2019. Estudio de Impacto Ambiental - EIA. Proyecto de Explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos "Soto Norte". Resumen Ejecutivo. Colombia

Monedero, J.C. 2024. Politica Para Indiferentes. Ediciones Fondo de Cultura Economica - FCE. Bogotá, Colombia.

Murillo, L.F. y Silva, A.E. 2019. La gestión del recurso hídrico en Brasil y Colombia, una comparación de sus instrumentos".

Sarmiento, C., Osejo, A. y otros. 2017. Páramos Habitados: Desafíos para la Gobernanza Ambiental de la Alta Montaña en Colombia. Biodiversidad en la Práctica. V.2, N.1, 122-145. Instituto Alexander Von Humboldt. Colombia

Osejo, A. y Ungar, P. 2016 ¿Agua Sí, Oro No? Anclajes del Extractivismo y el Ambientalismo en el Páramo de Santurbán. Instituto Alexander Von Humboldt. Colombia

Patiño G., Sebastian E. 2017. Práctica Empresarial en la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Enfocada en el Análisis de la Calidad del Agua en la Microcuenca de Río de Oro Bajo. Universidad Industrial de Santander - UIS. Bucaramanga, Colombia

Rojas J., Andres F. 2024. Bucaramanga Paisaje Hídrico Metropolitano: Estrategias Proyectadas para la Armonización entre el Sistema Urbano y el Sistema Natural en la Subcuenca del Río de Oro. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Colombia

Sarmiento, C. y Ungar, P. 2014. Aportes a la Delimitación del Páramo Mediante la Identificación de los Límites Inferiores del Ecosistema a Escala 1:25.000 y Análisis del Sistema Social Asociado al Territorio: Complejo de Páramos Jurisdicciones – Santurbán – Berlín Departamentos de Santander y Norte de Santander. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Colombia

Ungar, P. 2015. Hojas de ruta. Guías para el Estudio Socioecológico de la Alta Montaña en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia

Wackernagel, M. 1996 ¿Ciudades Sostenibles? En: Libro La Huella Ecológica: Población y Riqueza, 43-50.

ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS, UM ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS LAGOS IGAPÓ, LONDRINA-PR

1Renan Meira Teles, 2Kátia Valéria Marques Cardoso Prates e 3Andrea Sartori Jabur
1 Departamento de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, renanteles@utfpr.edu.br
2 Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, jabur@utfpr.edu.br
3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, kprates@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Bacia hidrográfica urbana; escoamento superficial; impermeabilização do solo.

Introdução

Segundo a Lei Federal n° 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é uma unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Brasil, 1997).

Bacia hidrográfica é definida como um sistema aberto na superfície terrestre, formado por vertentes, um rio principal e seus afluentes e subafluentes. Essa rede natural de captação, infiltração e escoamento de água tem seu fluxo direcionado para o exutório ponto mais baixo de saída, também conhecido como foz. Os limites da bacia são definidos pelos pontos mais altos do relevo, chamados de interflúvios ou divisores topográficos (França 2019).

Uma grande diferença entre uma bacia hidrográfica rural e uma bacia urbana é o escoamento superficial que é consideravelmente menor em bacias rurais devido ao maior percentual de área permeável que está possui em comparação com a bacia urbana (Hardy e Koontz 2010; Mata-Lima et al. 2007).

De acordo com (Faxina et al. 2012; Suriya e Mudgal 2012), a urbanização é uma das causas antrópicas de inundações, devido ao aumento da impermeabilização de regiões próximas as margens dos corpos hídricos urbanos.

Levando em consideração a diferença de paisagem entre uma bacia hidrográfica rural e uma bacia urbana, a presente pesquisa tem como objetivo mostrar que esta diferença paisagística acarreta em uma diferença morfológica devido principalmente a diferença de permeabilidade entre estes dois tipos de bacia, sendo assim utilizou-se como objeto de estudo a bacia hidrográfica dos lagos Igapó, que é uma sub-bacia do ribeirão Cambé, situada predominantemente no município Londrina, Região norte do estado do Paraná, na região sul do Brasil.

Metodologia

Para mostrar a diferença de permeabilidade foi escolhida bacia hidrográfica situada em uma região que passou por um intenso processo de urbanização nas últimas décadas.

A partir dos dados de uso e cobertura do solo obtidos entre 1985 e 2022, foram confeccionados mapas para obtenção da área total da bacia, bem como a área impermeável da bacia para os diferentes mapas, estes cálculos de área foram realizados de maneira automática pelo software QGIS a partir dos mapas elaborados (MapBiomas 2024)

Em seguida iniciou-se a caracterização hidrológica da bacia, onde optou-se pela utilização de um método de cálculo de tempo de concentração que levasse em consideração a área impermeável da bacia hidrográfica, logo, o método escolhido foi o método de Schaake (Mata-Lima et al. 2007), descrito pela equação 1:

$$t_c = \frac{0{,}503 * L^{0{,}24}}{i^{0{,}16} * Ai^{0{,}26}} \qquad (1)$$

Onde: Tc é o tempo de concentração (h);
L é o comprimento do talvegue (km);
i é a declividade do talvegue (m/m);
Ai é a área impermeável da bacia (%).

Em seguida foram calculadas as vazões máximas desta bacia, tendo como método escolhido para isto a equação de I Pai Wu, por se tratar de uma bacia hidrográfica com área superior a 2km² e inferior a 200 km², como indica (DAEE 2005). A equação 2 descreve esta equação.

$$Q = 0{,}278 * C * i * A^{0{,}9} * K \qquad (2)$$

Onde:

Q é a vazão (m³/s);
C é o coeficiente de escoamento superficial (Runoff);
i é a intensidade da chuva crítica (mm/h);

A é a área da bacia de contribuição (km²);
K é o coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Resultados

As figuras 1 e 2, trazem os mapas elaborados para os anos de 1985 e 2022 respectivamente, que são os mapas relativos ao primeiro e o último ano levados em consideração por esta pesquisa.

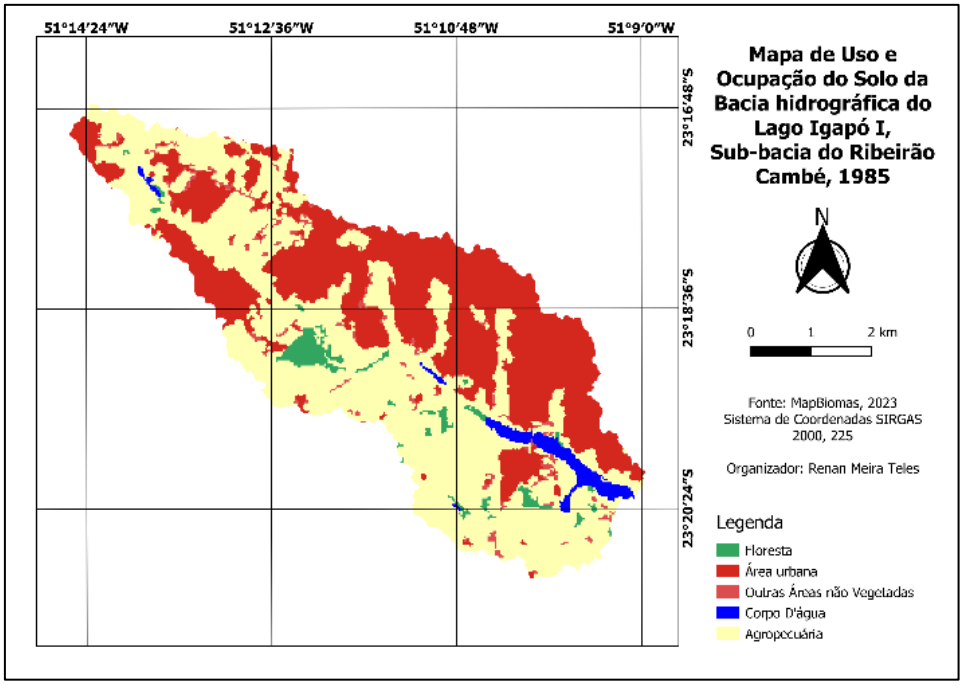


Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica dos Lagos Igapó em 1985.

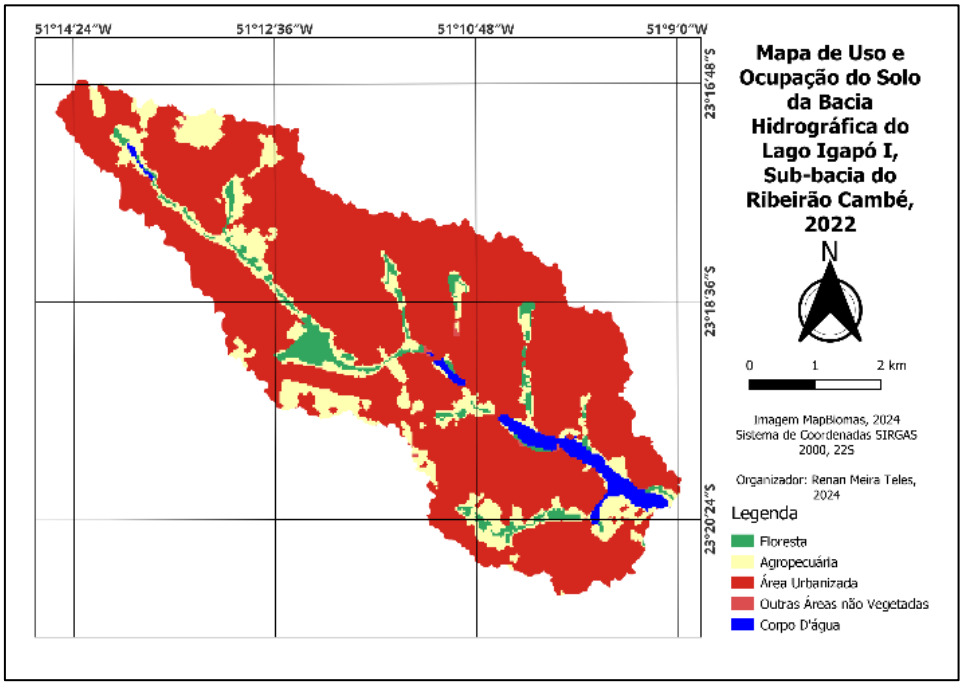


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica dos Lagos Igapó em 2022.

A partir da visualização dos mapas supracitados é notório o aumento da área impermeável dentro da bacia hidrográfica, onde a área impermeável passou de 40,5% em 1985 para 79,8% em 2022. Estes valores foram encontrados por meio da elaboração de mapas de uso e cobertura do solo utilizando o software QGIS a partir de dados da plataforma (MapBiomas, 2024).

Este aumento da área impermeável da bacia ocasionou em uma diminuição do tempo de concentração, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Tempos de Concentração

Anos	Tempo de Concentração (h)
1985	2,5183
1989	2,4464
1999	2,2531
2009	2,1632
2019	2,1131
2022	2,1110

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por conseguinte, a vazão também variou conforme o aumento da área impermeável como mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Vazões máximas

Anos	Vazão (m^3/s)	Aumento (%)
1985	172,42	0,000
1989	185,15	7,380
1999	229,87	33,318
2009	257,83	49,534
2019	276,56	60,394
2022	277,41	60,886

Fonte: Elaborado pelos autores

Conclusão

Esta pesquisa evidencia que a mudança de paisagem gerada em uma bacia hidrográfica acarreta variações hidrológicas proporcionais. Sendo assim, é fundamental que paralelo ao crescimento urbano seja realizado um planejamento de manejo das águas pluviais, para evitar enchentes ou inundações locais, bem como mitigar os danos causados pela expansão urbanas nos corpos hídricos.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina e ao CAPES pela bolsa de estudos.

Referências

DAEE. 2005. “Guia Prático Para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas.” *Dep. Águas E Energ. Elétrica*. Accessed February 26, 2024. http://www.daee.sp.gov.br/site/guiapraticooutorgas/.

Faxina, R., J. Rezende, J. Junior, and P. Azevedo. 2012. “Urbanização e alterações morfométricas e hidrológicas na bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, Jaú, São Paulo.” *Rev. Ibero-Am. Ciênc. Ambient.*, 3. https://doi.org/10.6008/ESS2179-6858.2012.002.0004.

França, F. H. V. [UNESP. 2019. “Indicadores de desempenho e recursos hídricos: proposta de um índice multidimensional para avaliação da implementação de planos de recursos hídricos.” Universidade Estadual Paulista (Unesp).

Hardy, S. D., and T. M. Koontz. 2010. “Collaborative watershed partnerships in urban and rural areas: Different pathways to success?” *Landsc. Urban Plan.*, 95 (3): 79–90. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.005.

MapBiomas. 2024. “MapBiomas.” Accessed February 26, 2024. https://brasil.mapbiomas.org/downloads/.

Mata-Lima, H., H. Vargas, J. Carvalho, M. Gonçalves, H. Caetano, A. Marques, and C. Raminhos. 2007. “Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.” *Rem Rev. Esc. Minas*, 60: 525–536. Escola de Minas. https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000300014.

Suriya, S., and B. V. Mudgal. 2012. “Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study.” *J. Hydrol.*, Hydrology Conference 2010, 412–413: 210–219. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.008.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Recursos Hídricos: Planejamento, Gestão, Aproveitamento, Políticas e Estudos Avaliativos

8º SSS

DELIMITAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO DO PEIXE (SP) COM BASE NA HIERARQUIA DE STRAHLER E MDE SRTM

1Júlia Rodrigues Alves, 2Paulo Cesar Rocha

1Aluna de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP/FCT – Presidente Prudente, e-mail: julia.rodrigues@unesp.br; 2Professor Associado (Livre-Docente) da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, departamento de Geografia – UNESP/FCT, paulo-cesar.rocha@unesp.br.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Geoprocessamento; Recursos hídricos.

Resumo

As bacias hidrográficas são unidades fundamentais para o planejamento e a gestão ambiental, por integrarem elementos físicos, bióticos e sociais dentro de limites naturais definidos pela drenagem superficial. Elas exercem papel central no abastecimento hídrico, na conservação da biodiversidade e na oferta de serviços ecossistêmicos essenciais. No entanto, o avanço das atividades humanas tem gerado alterações significativas no uso e cobertura do solo, especialmente em áreas ambientalmente sensíveis, o que compromete a qualidade e a sustentabilidade dos recursos hídricos. A bacia do Rio do Peixe, situada no estado de São Paulo, é uma dessas regiões estratégicas, abrangendo cerca de 10.769 km² e 51 municípios com relevância econômica e ecológica, caracterizados por uma matriz heterogênea de uso da terra, que inclui agricultura, fragmentos de vegetação nativa e áreas urbanizadas. Nesse contexto, o uso de tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto e os Modelos Digitais de Elevação (MDE), aliados à crescente disponibilidade de dados orbitais gratuitos, tem permitido análises espaciais mais precisas e detalhadas da dinâmica hidrológica e dos impactos antrópicos sobre o ambiente. Contudo, ainda existem desafios, como a inconsistência entre a rede de drenagem mapeada e os fluxos simulados numericamente, além da presença de depressões que afetam a continuidade do escoamento superficial. Diante disso, este trabalho tem como objetivo delimitar as sub-bacias do Rio do Peixe (SP) por meio da integração de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, utilizando o MDE SRTM e aplicando a hierarquia de Strahler para classificação da rede de drenagem. A metodologia adotada visa subsidiar a análise ambiental e o planejamento territorial da região, promovendo uma gestão mais eficiente, integrada e sustentável dos recursos hídricos. Os resultados reforçam a importância de abordagens espaciais no estudo de bacias hidrográficas e sua aplicabilidade em cenários de crescente pressão antrópica, destacando a utilidade das ferramentas digitais na formulação de estratégias voltadas à conservação, recuperação e uso racional da água.

Introdução

As bacias hidrográficas exercem um papel crucial na organização territorial e ambiental, atuando como unidades essenciais para o abastecimento hídrico, a conservação da biodiversidade e a oferta de serviços ecossistêmicos vitais. No entanto, o crescimento das atividades humanas tem acelerado as mudanças no uso e na cobertura do solo, sobretudo em regiões de relevância ambiental e econômica. Essas transformações representam uma ameaça à qualidade ambiental e à sustentabilidade dos recursos naturais, reforçando a importância de um monitoramento constante e eficaz.

Guerra e Cunha (1996) destacam que as bacias hidrográficas são unidades de gestão excepcionais por seu caráter integrador, permitindo a análise conjunta dos elementos naturais e sociais. Sob essa perspectiva, é possível monitorar as transformações causadas pela ação humana e as respectivas respostas do meio ambiente. Os autores também ressaltam que, em países mais desenvolvidos, as bacias hidrográficas têm sido amplamente adotadas como unidades de planejamento e gerenciamento, harmonizando os múltiplos usos e interesses relacionados à água e assegurando a manutenção de sua qualidade e disponibilidade.

A bacia do Rio do Peixe, localizada no estado de São Paulo, é uma importante unidade hidrográfica que desempenha papel estratégico no abastecimento de água, na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio dos ecossistemas regionais. Com uma área de drenagem de 10.769 km², que abrange municípios de relevância econômica e ambiental, a bacia é caracterizada por uma diversidade de paisagens, incluindo áreas de agricultura, fragmentos de vegetação nativa e zonas urbanas. De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, existem 51 municípios que integram a bacia.

Com o avanço dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o desenvolvimento de técnicas modernas para o processamento e tratamento de imagens de satélite, aliados à crescente disponibilidade desses produtos de forma gratuita e em grande volume, esses recursos tornaram-se viáveis para o estudo de bacias hidrográficas. Essa combinação de tecnologias e dados acessíveis tem ampliado as possibilidades de análise espacial, permitindo uma compreensão mais detalhada e precisa da dinâmica hidrológica e das características ambientais das bacias. Segundo Ferreira et al. (2005), os programas de aplicação em SIG têm a capacidade de manipular, armazenar e analisar dados geográficos.

O processamento de imagens de radar e o uso de modelos digitais de elevação (MDE) têm se mostrado essenciais para a delimitação e análise de bacias. No entanto, um dos principais desafios enfrentados em estudos hidrológicos é a inconsistência entre o traçado da hidrografia mapeada e o escoamento superficial derivado numericamente, além da presença frequente de depressões que interrompem o fluxo contínuo da drenagem até o exultório da bacia.

Considerando a relevância do estudo de bacias hidrográficas para a promoção da conservação e o uso sustentável dos recursos hídricos, este trabalho tem como objetivo delimitar as sub-bacias do rio do Peixe (SP) por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, utilizando o MDE SRTM e aplicando a hierarquia de Strahler para a classificação da rede de drenagem.

Área de estudo

O estudo foi conduzido na região da Bacia do Rio do Peixe, cujas nascentes estão localizadas nas proximidades dos municípios de Garça e Marília, a uma altitude aproximada de 670 metros. A foz do rio, situada no rio Paraná, atinge um nível de base regional de 240 metros, entre os municípios de Presidente Epitácio e Panorama, abrangendo uma extensão total de cerca de 380 km. A bacia do Rio do Peixe tem uma área de drenagem estipulada em 10.769 km² (SIGRH, 2024).

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos, inicialmente estabelecido pela Lei Estadual 9.034/94 e posteriormente revogado pela Lei Estadual 16.337/2019, que define a divisão hidrográfica do Estado de São Paulo, a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-21) abrange os municípios cujas sedes estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe. Essa região é composta por 26 municípios: Adamantina, Alfredo Marcondes, Álvares Machado, Bastos, Borá, Caiabu, Emilianoópolis, Flora Rica, Flórida Paulista, Indiana, Inúbia Paulista, Irapuru, Junqueirópolis, Lutécia, Mariápolis, Marília, Martinópolis, Oriente, Oscar Bressane, Osvaldo Cruz, Ouro Verde, Piquerobi, Pracinha, Ribeirão dos Índios, Sagres e Santo Expedito. Essa delimitação reforça a importância da gestão integrada dos recursos hídricos na região, visando ao uso sustentável e à conservação ambiental. Além de outros 25 municípios, com as sedes fora da área da UGRHI, que são contabilizados como "municípios com área contida", são eles: Caiuá, Dracena, Echaporã, Garça, Herculândia, Iacri, João Ramalho, Lucélia, Lupércio, Ocauçu, Pacaembu, Panorama, Parapuã, Pompéia, Presidente Bernardes, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau, Quatá, Quintana, Rancharia, Regente Feijó, Santo Anastácio, Tupã e Vera Cruz (CBHAP, 2025).

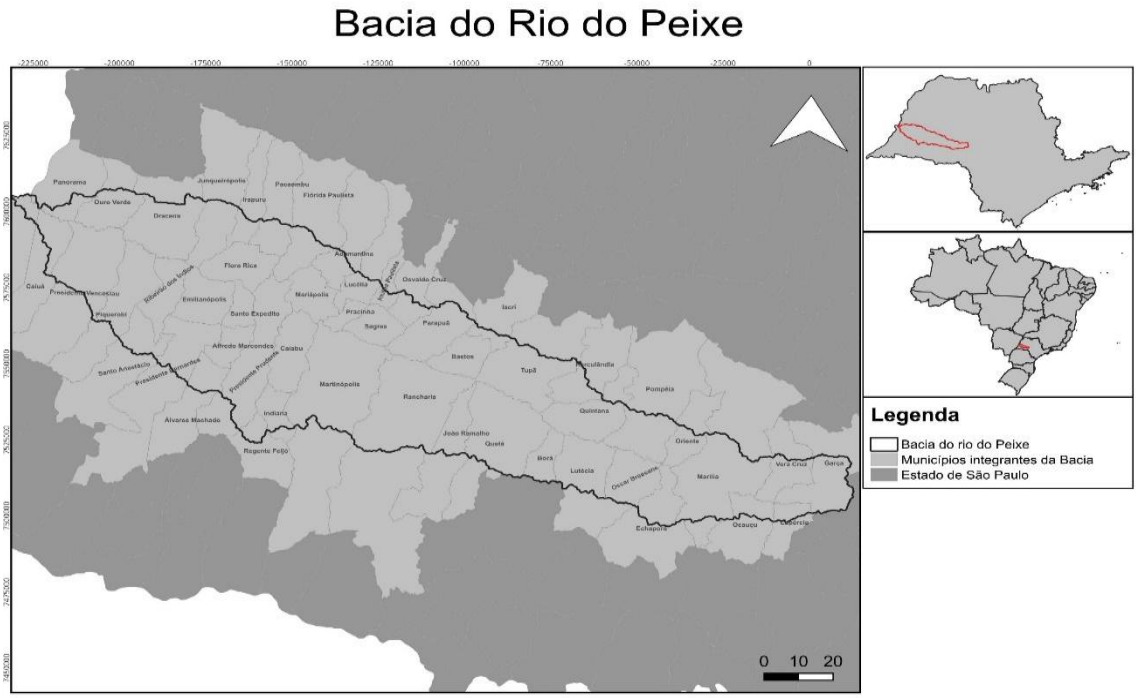


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Os autores (2025)

Metodologia

Neste trabalho, foram utilizadas imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 30 metros, obtidas gratuitamente do site da USGS (United States Geological Survey). Essas imagens foram reprojetadas e recortadas de acordo com os limites da bacia hidrográfica do rio do Peixe.

Com o Modelo Digital de Elevação (MDE) delimitado à área da bacia do rio do Peixe, deu-se início à delimitação das suas sub-bacias por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O primeiro passo consistiu no preenchimento das depressões, uma vez que essas podem gerar inconsistências nos dados e comprometer a análise do fluxo de drenagem. Em seguida, foi extraída a rede de drenagem. Para reduzir o número de feições de drenagem e adequá-las à escala do estudo, aplicou-se um valor de limiar maior que 6 ao MDE, considerando que, quanto maior o valor escolhido, menor será o número de feições geradas, e vice-versa.

Posteriormente, as sub-bacias foram delimitadas com base na ordem hierárquica proposta por Strahler (1952). Nesse sistema de classificação, os canais sem tributários são designados como de primeira ordem. Os de segunda ordem surgem da

confluência de dois canais de primeira ordem, enquanto os de terceira ordem resultam da união de dois canais de segunda ordem, podendo ainda receber afluentes de ordens inferiores. Esse padrão se repete sucessivamente à medida que a rede de drenagem se desenvolve. Essa abordagem permitiu uma análise estruturada e detalhada da rede de drenagem da bacia em estudo.

Resultados e Discussões

A divisão em sub-bacias proposta ANA (Agência Nacional das Águas) subdivide as grandes bacias hidrográficas do Brasil em sub-bacias com dimensões ainda muito grandes. Isso inviabiliza um modelo sistemático de monitoramento das sub-bacias de uma forma frequente quanto ao seu uso e manejo (Marcuzzo, 2011).

Na análise da rede de drenagem da bacia do rio do Peixe, conduzida por meio de um sistema de informação geográfica (SIG) com base em um Modelo Digital de Elevação (MDE), observou-se que a hierarquização dos cursos d'água afluentes ao rio do Peixe, conforme o método de Strahler, apresenta variação entre 1ª e 4ª ordens.

Do total de sub-bacias identificadas, 94 foram classificadas como de 1ª ordem, 36 como de 2ª ordem, 28 como de 3ª ordem e 29 como de 4ª ordem, totalizando 187 sub-bacias mapeadas. Essa distribuição reflete a organização estrutural da rede de drenagem e fornece subsídios para a compreensão da dinâmica hidrológica da bacia em estudo.

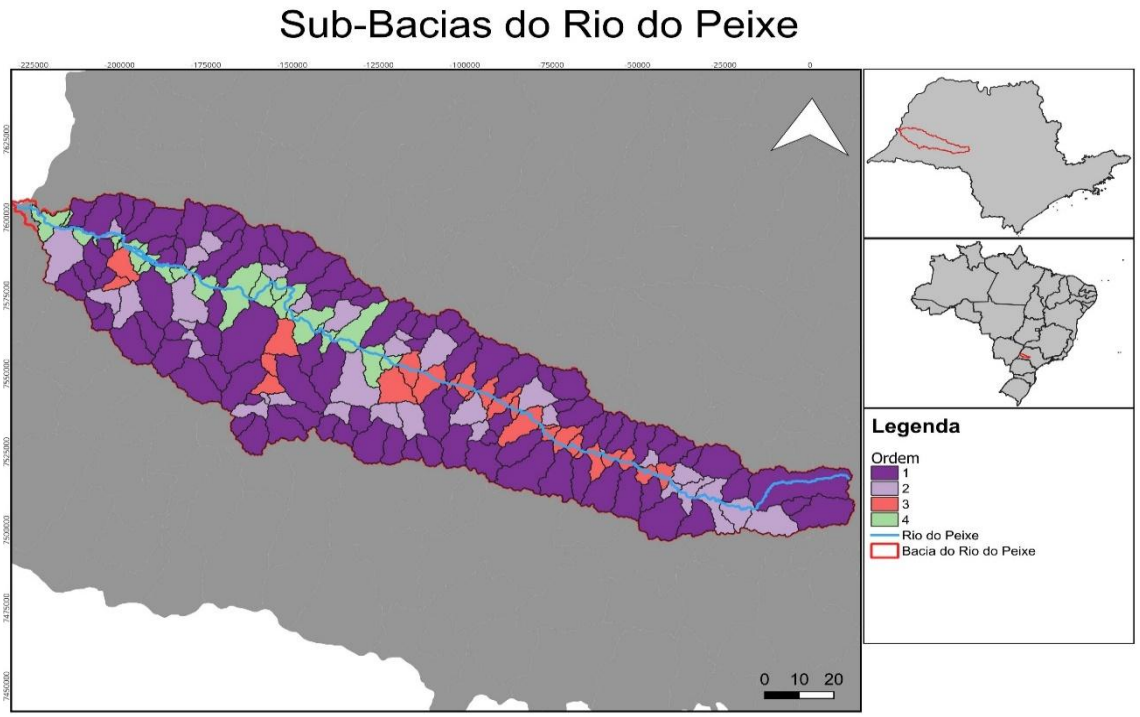


Figura 1: Sub-bacias do rio do Peixe classificadas segundo o ordenamento de Strahler. Fonte: Os autores (2025).

Tabela 1. Perímetro e área das quatro ordens das sub-bacias do rio do Peixe.

Ordem	Perímetro (km)	Área (Km2)	Perímetro (%)	Área (%)
1	2541,67	6609,11	49%	66%
2	1264,94	1739,917	24%	17%
3	719,41	905,834	14%	9%
4	698,94	832,741	13%	8%
Total	5224,95	10087,60	100%	100%

Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados demonstram que as sub-bacias de 1ª ordem predominam na bacia do rio do Peixe, representando 66% da área total. Esse padrão é consistente com a teoria de Strahler (1952), que prevê um maior número de canais de menor ordem em uma rede de drenagem. As sub-bacias de ordens superiores (2ª, 3ª e 4ª) apresentam áreas progressivamente menores, o que reflete a estrutura hierárquica típica de bacias hidrográficas.

Essa classificação, proposta por Horton (1945) e refinada por Strahler (1952), é fundamental para compreender a estrutura e a dinâmica das bacias hidrográficas. Canais de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª ordem e além desempenham papéis importantes na conectividade ecológica, no transporte de sedimentos e na interação com atividades humanas. De acordo com esse sistema, rios de 1ª ordem são córregos iniciais sem tributários, enquanto os de 2ª ordem resultam da confluência de dois rios de 1ª ordem.

Quando dois rios de 2ª ordem se unem, formam um rio de 3ª ordem, que, por sua vez, pode se unir a outro de mesma ordem para originar um rio de 4ª ordem, e assim por diante.

Essa classificação reflete padrões fractais na rede de drenagem, com relações geométricas consistentes entre número de canais, comprimentos e áreas de bacias. Por exemplo, em bacias japonesas, a distribuição de uso do solo e população segue sequências geométricas similares às leis de Horton, indicando uma sincronia entre geomorfologia e atividades humanas (MIYAMOTO et al., 2011).

Para o papel ecológico de cada ordem, os de 1ª ordem são iniciadores da rede hidrográfica, servindo como berçários para macroinvertebrados e microrganismos, que são fundamentais para a cadeia alimentar aquática (STRAHLER, 1952). Além disso, sua baixa energia cinética permite a deposição de partículas finas, reduzindo a erosão nas áreas de cabeceira e estabilizando o solo (HORTON, 1945).

Canais de 2ª ordem atuam como corredores de biodiversidade, facilitando a dispersão de espécies entre habitats fragmentados (MIYAMOTO et al., 2011). Eles também regulam o fluxo hídrico, mitigando enchentes durante eventos de chuva intensa, e transportam matéria orgânica (folhas e detritos) para ordens superiores, sustentando a produtividade primária nos ecossistemas aquáticos (KOBIYAMA et al., 2016).

Canais de 3ª ordem resultam da junção de dois rios de 2ª ordem e sustentam uma biodiversidade mais complexa, incluindo peixes de maior porte e répteis semiaquáticos (STRAHLER, 1952). Eles desempenham um papel importante no transporte de sedimentos em escala intermediária, conectando áreas de produção de sedimentos (ordens inferiores) a zonas de deposição (ordens superiores) (HORTON, 1945). Além disso, suas margens são frequentemente utilizadas para atividades agrícolas, o que exige um manejo equilibrado para conciliar produtividade e conservação ambiental (MIYAMOTO et al., 2011).

Canais de 4ª ordem são formados pela convergência de rios de 3ª ordem. Eles atuam como eixos de conectividade regional, permitindo a migração de espécies (e.g., peixes migradores como o dourado) e a dispersão de sementes (KOBIYAMA et al., 2016). Além disso, influenciam o clima local por meio da evapotranspiração, moderando temperaturas e aumentando a umidade atmosférica em áreas adjacentes (SCHEIDEGGER, 1968). Esses rios também abrigam comunidades biológicas complexas, incluindo aves aquáticas e mamíferos, sendo fundamentais para a manutenção da biodiversidade em escala regional.

Um fator interessante a se destacar no âmbito da hierarquia fluvial é a sua importância nas variações e possíveis rupturas de declive nos perfis longitudinais dos rios, quando a confluência de rios caudais expressivos, ou seja, quando à confluência de cursos d'água com ordens hierárquicas bem distintas (Laszlo; Rocha, 2014).

Ao considerar sub-bacias como unidades locais de gerenciamento dentro de uma bacia hidrográfica maior, reconhece-se a importância da conectividade entre os canais principais e seus afluentes de menor ordem. Essa abordagem permite que cada sub-bacia seja monitorada e manejada de forma individualizada, garantindo ações específicas para sua conservação e uso sustentável. No entanto, esse gerenciamento deve ser realizado de maneira integrada, assegurando que as intervenções locais contribuam para a funcionalidade e estabilidade do sistema hidrográfico como um todo. Cada sub-bacia possui características próprias, como topografia, tipo de solo e cobertura vegetal, que influenciam diretamente a quantidade e a qualidade da água que chega aos rios principais. A diversidade de condições das sub-bacias permite que sejam utilizadas como laboratórios naturais para a gestão de recursos hídricos, viabilizando a adoção de estratégias de conservação e manejo adequadas às características de cada área.

Conclusão

A divisão da Bacia do Rio do Peixe em sub-bacias representa uma estratégia fundamental para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, especialmente diante de sua extensão territorial e complexidade geomorfológica. A fragmentação em unidades menores possibilita a identificação e o tratamento específico de problemas locais, como processos erosivos, poluição difusa e desmatamento, permitindo intervenções mais direcionadas e eficazes. Essa abordagem também favorece a implementação de práticas conservacionistas adaptáveis, que podem ser monitoradas e ajustadas conforme as dinâmicas ambientais e antrópicas, promovendo uma gestão mais responsiva às transformações do território.;

Referências Bibliográficas

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da (Orgs.) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p. 93-148.

FERREIRA, M. M.; ALVES. E. de O.; MENEZES, J. M. de, MACIEIRA, M. B.; SILVA, H. A. da. Aplicação de SIG como instrumento de apoio para a tomada de decisões no processo de gestão compartilhada de bacias hidrográficas urbanas- O Caso do Igarapé Belmont - Porto Velho-RO. Trabalho de PIBIC. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2004.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA (CBH-AP). Apresentação. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/cbhap/apresentacao. Acesso em: 5 fev. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA (CBH-AP). Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 21. Disponível em: https://cbhap.org/ugrhi-21/. Acesso em: 5 fev. 2025.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

Cardoso, M. R. D., & Marcuzzo, F. F. N. (2011). Estudo da morfologia areal da bacia do Rio Araguaia utilizando MDE ASTER.

KOBIYAMA, M. et al. Análise do ângulo de junção com consideração da hierarquização fluvial. In: 11º SINAGEO, 2016. Disponível em: https://sinageo.org.br/2016/trabalhos/3/3-508-879.html. Acesso em: 10 out. 2023.

MIYAMOTO, H.; HASHIMOTO, T.; MICHIOKU, K. Basin-Wide Distribution of Land Use and Human Population: Stream Order Modeling and River Basin Classification in Japan. Environmental Management, v. 47, n. 5, p. 885-898, 2011. DOI: 10.1007/s00267-011-9653-0.

SCHEIDEGGER, A. E. Horton's Law of Stream Order Numbers and a Temperature-Analog in River Nets. Water Resources Research, v. 4, n. 1, p. 167-171, 1968. DOI: 10.1029/WR004i001p00167.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

MANOEL, J. Laszlo; ROCHA, P. C. Composição hierárquica dos canais fluviais das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe. Revista Geonorte, v. 5, n. 20, p. 228-232, 2014.

Poleto, C.; Cardoso, R.; 2012. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Anais do X ENES, pp.10-16.

RICHARDS, J. **A. Remote Sensing Digital Image Analysis**. 5. ed. New York: Springer, 2013.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World.** United Nations. 2017.Disponível em: https://sdgs.un.org/goals Acesso em: 02 de nov. de 2022.

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM TRÊS RIBEIRÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LINDÓIA NO MUNICÍPIO LONDRINA - PR

1Maria Eduarda Scarabelot Cortez, 2Pedro Henrique Vieira de Almeida Araujo, 3Stephanie Luana Urata, 4Andrea Sartori Jabur, 5Kátia Valeria Marques Cardoso

1Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, e-mail:mariacortez@alunos.utfpr.edu.br; 2Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, e-mail: araujo.2001@alunos.utfpr.edu.br; 3Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, e-mail: stephanieurata@alunos.utfpr.edu.br; 4Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, e-mail: jabur@professores.utfpr; 5Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, e-mail: kprates@professores.utfpr.edu.br.

Palavras-chave: Condição hídrica; Protocolo de avaliação rápida; Urbanização.

Resumo

A intensificação dos processos de urbanização tem resultado em alterações significativas na qualidade dos ecossistemas aquáticos, evidenciando a necessidade da adoção de técnicas de monitoramento que sejam contínuas, rápidas e eficazes. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo aplicar cinco critérios de avaliação de dois protocolos distintos — o Protocolo de Avaliação Rápida para Rios Urbanos (PARU) e o Protocolo de Avaliação de Canais Fluviais como Estruturas Hidráulicas (PACEH) — em três corpos hídricos pertencentes à bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, localizada no município de Londrina, Paraná. Foram avaliados o Ribeirão Lindóia (P1), o Ribeirão Quati (P2) e o Ribeirão Água das Pedras (P3). O PARU atribui pontuações variando de 0 a 15 pontos, nas quais valores mais elevados indicam melhores condições de preservação ambiental. O PACEH, por sua vez, utiliza uma escala de 5 a 60 pontos, sendo que menores pontuações refletem maior estabilidade das estruturas hidráulicas. As pontuações obtidas para o PARU e o PACEH, considerando as margens esquerda (ME) e direita (MD), foram: P1 – ME: 9 e 14; MD: 9 e 17; P2 – ME: 9 e 32; MD: 10 e 30; e P3 – ME: 3 e 19; MD: 3 e 21. Os resultados indicaram que o P1 apresentou um grau de preservação razoável em ambas as margens. No P2, a margem direita apresentou melhor condição de preservação, enquanto a margem esquerda indicou alterações significativas. O P3, por sua vez, obteve as menores pontuações, evidenciando a forte influência antrópica em seu entorno. Em relação à estabilidade das estruturas hidráulicas, os corpos hídricos P1 e P3 apresentaram boas condições, ao passo que o P2 foi o mais impactado, devido à presença de obstruções no canal. Os dados obtidos demonstram a importância da aplicação integrada de protocolos de avaliação rápida para o diagnóstico da qualidade e estabilidade dos corpos hídricos urbanos, podendo ser utilizado como uma ferramenta de gestão pública.

Introdução

Devido a utilização intensa dos recursos hídricos, cresce a necessidade de novos métodos de monitoramento de qualidade ambiental da rede de drenagem (Rodrigues; Castro, 2008a). A compreensão dos ecossistemas aquáticos exige uma análise além dos componentes da água, na qual, deve-se considerar todos os fatores interrelacionados que geram influência no ecossistema como um todo. Para avaliar a qualidade global do ecossistema, é necessário integrar os aspectos da qualidade da água, as características do meio e suas interações (Rodrigues, 2009, p. 8). Desse modo, torna-se imprescindível a análise da infraestrutura e do funcionamento dos sistemas fluviais.

Neste contexto, uma ferramenta de utilização que complementa o monitoramento dos recursos naturais, é denotados de Protocolos de Avaliação Rápida de Rios (PARs), que tem o intuito de averiguar a qualidade funcionamento dos ambientes fluviais (Rodrigues e Castro, 2008a; Rodrigues et al., 2010).

E os autores Campos e Nucci (2019) elaboraram adaptações para a aplicação do PAR em rios urbanos, o mesmo, sendo denotado de protocolo de avaliação rápida para rios urbanos (PARU), com a criação de novos critérios e os parâmetros indicativos das condições do rio. Portanto, o PARU compreende critérios e parâmetros que expressam as particularidades da paisagem fluvial urbana (Campos; Nucci, 2021).

Além disso, a análise da estabilidade dos canais fluviais constitui elemento essencial para a avaliação ambiental. De acordo com o Federal Highway Administration (FHWA, 2006), um canal fluvial estável é caracterizado por margens baixas, vegetação ripária saudável, presença de planícies de inundação ativa e margens planas. Em contrapartida, canais instáveis apresentam margens altas e verticais, entalhamento e propensão ao solapamento, dificultando a dinâmica natural de inundação. Nesse sentido, a aplicação do Protocolo de Avaliação de Estabilidade de Estruturas Hidráulicas (PAEEH) é fundamental para verificar as condições de estabilidade dos canais.

De maneira geral, esses protocolos têm o objetivo de avaliar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos de modo a contribuir com o manejo e a conservação, sendo de fácil compreensão e utilização simplificada (Callisto et al., 2002).

Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo aplicar o PARU e a modificação do PAEEH para enquadrar como Protocolo de Avaliação de Canais Fluviais como Estruturas Hidráulicas (PACEH), aplicado a três canais da bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia , localizados no município de Londrina, estado do Paraná.

Metodologia

Os locais de aplicação dos protocolos PARU e PACEH está inserido na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia, sendo que os 3 corpos hídricos avaliados estão localizados na área urbana de Londrina (Figura 1), sendo: o ponto 1 (P1) o corpo principal do Ribeirão Lindóia, o ponto 2 (P2) o corpo hídrico do Ribeirão Quati, e o ponto 3 (P3) pertence ao corpo hídrico do Ribeirão Água das Pedras. Como demonstrado no mapa a seguir elaborado a partir da utilização do software QGIS (Figura 1).

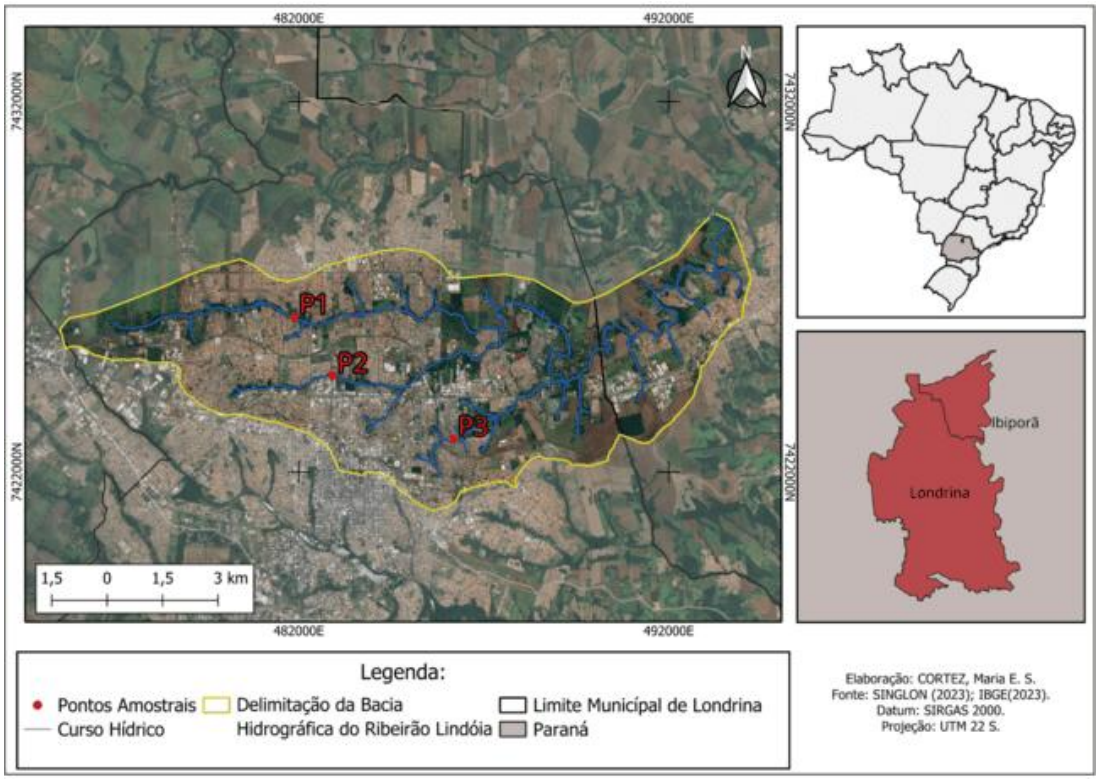


Figura 1 – Delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia do município de Londrina, Paraná, destacando os pontos de aplicação dos protocolos.
Fonte: Autoria própria

Visando uma melhor compreensão do uso e ocupação do solo na região dos três pontos de aplicação dos protocolos, foi elaborado utilizando o software QGIS, buffers com o diâmetros de 30 metros (vermelho), 50 metros (verde), e 100 metros (azul), das áreas de entorno, como pode ser visualizado na Figura 2, na escala de visualização 1:1400 m.



(a) Uso e ocupação no entorno do P1 (b) Uso e ocupação no entorno do P2 (c) Uso e ocupação no entorno do P3

Figura 2 – Buffers de 30, 50 e 100 metros, no entorno dos pontos de aplicação dos protocolos para delimitação do uso e ocupação do solo
Fonte: Autoria própria

Para a aplicação do PARU nos pontos amostrais foram selecionados 5 critérios (Quadro 1) adaptados de Gomes *et al*. (2005) e Campos (2020), Os parâmetros de análise foram classificados em quatro escalas de pontuação; Ruim (0 pontos), Regular (1 pontos), Bom (2 pontos) e Ótimo (3 pontos).

Quadro 1: Parâmetros analisados do Protocolo de Avaliação Rápida para Rios Urbanos (PARU).

Critérios	Parâmetro de análise			
	Ruim (0)	**Regular (1)**	**Bom (2)**	**Ótimo (3)**
Resíduos sólidos	Foi observado resíduos sólidos na maior parte do curso	Existem resíduos sólidos no trecho, encontrados em pequenas porções e/ou dispersos	Pequenas quantidades na margens, sem alcançarem o curso hídrico	Não se visualiza presença de resíduos sólidos
Vegetação (APP)[1]	Não possui a largura mínima exigida	Possui a largura mínima exigida, mas apresenta degradação na vegetação	Possui a largura mínima e se encontra conservada	Apresenta vegetação acima do valor mínimo
Esgoto doméstico ou efluente industrial	Existem três ou mais das seguintes evidências: Canalizações, espuma e/ou sedimento, odor, mancha e/ou óleo.	Existem duas evidências: Canalizações, espuma e/ou sedimento, odor, mancha e/ou óleo.	Existem uma das seguintes evidências: Canalizações, espuma e/ou sedimento, odor, mancha e/ou óleo.	Não ocorre presença de nenhuma evidência
Proximidade com residência ou estabelecimento	Menos de 30 metros	Entre 30 a 50 metros	Entre 50 a 100 metros	Mais de 100 metros
Animais	Não ocorre presença de animais	Nota-se apenas aves presentes	Ocorre a presença de poucos peixes, insetos, entre outros	Observa a presença de peixes, insetos, aves entre outros

[1] Valores mínimos de APP estabelecidos no Novo Código Florestal (Lei n°12.651/2010), sendo: 1) 30 metros para cursos d'água de menos de 10 metros de largura.

Fonte: Adaptado de Gomes, *et al.* (2005) e Campos (2020); Nucci (2021).

Para a aplicação do PACEH, foi feito uma modificação do quadro proposto por FHWA (2006), com os critérios para a pontuação dos cinco parâmetros analisados classificados em quatro categorias: Ruim (10 - 12 pontos), Regular (7 - 9 pontos), Boom (4 - 6 pontos) e Excelente (1 - 3 pontos), demonstrado a seguir no Quadro 2.

Quadro 3: Parâmetros analisados do Protocolo de Avaliação de Canais Fluviais como Estruturas Hidráulicas (PACEH).

Critérios	Parâmetro de análise			
	Ruim (10 - 12)	**Regular (7 - 9)**	**Bom (4 - 6)**	**Ótimo (1 - 3)**
Erosão Marginal	Intensa em ambas as margens	Erosão moderada em ambas margens	Erosão moderada em uma margem	Pouca ou nenhuma erosão nas margens
Obstruções	Obstrução frequente gerando desvio	Obstrução com frequência moderada	Poucas obstruções	Raros ou ausentes
Padrão do Canal	Canais entrelaçados	Canais com forte meandramento	Canais com sinuosidade moderada	Canais retos ou pouca sinuosidade
Grau de confinamento	Canal profundamente entalhado	Confinamento moderado	Leve confinamento	Planície de inundação desenvolvida
Solapamento das margens	Frequentes	Algumas evidências	Raros	Nenhuma evidência

Fonte: Modificado de FHWA (2006).

A pontuação final para os protocolos é obtida a partir da somatória das pontuações nos pontos das amostras, com a maior pontuação do PARU resulta no melhor grau de preservação, já o inverso ocorre no PACEH, isto é, quanto menor a pontuação melhor o nível de estabilidade (Quadro 4).

Tabela 1: Parâmetros analisados dos Protocolos de Avaliações Rápidas Para Rios Urbanos (PARU), e de Canais Fluviais como Estruturas Hidráulicas (PACEH) na bacia do Ribeirão Lindóia.

Protocolo	Pontuação			
	Ótimo	Bom	Regular	Péssimo
Grau de Preservação - PARU	15	10	3	0
Nível de estabilidade - PACEH	5 a 15	20 a 30	35 a 45	50 a 60

Fonte: Modificado de Gomes, *et al.* (2005) e Campos (2020); Nucci (2021); FHWA (2006).

Resultado e Discussão

A aplicação de ambos os protocolos foi feita considerando as margens separadamente, analisando as margens esquerda e direita, (ME) e (MD) respectivamente, portanto o resultado vai abordar os protocolos separadamente, iniciando pelo PARU.

Na Figura 3 são apresentados os cursos hídricos correspondentes aos pontos de aplicação dos protocolos. O ponto P1 apresenta vegetação marginal mais densa, com baixa incidência de luminosidade sobre o curso d'água e maior cobertura vegetal nas margens. Entretanto, ao longo dos demais pontos de amostragem observa-se um processo progressivo de degradação ambiental, conforme ilustrado na Figura 2, itens (a), (b) e (c).

Adicionalmente, a Figura 3, itens (d), (e) e (f), evidencia a presença de resíduos sólidos em todos os pontos analisados. No P1, os resíduos são majoritariamente de origem doméstica; no P2, a presença de resíduos está relacionada à proximidade de local de triagem de materiais recicláveis localizada à margem do corpo hídrico; enquanto no P3 predominam resíduos da construção civil, descartados inadequadamente pela população local.



(a)Curso hídrico (P1)



(b) Curso hídrico (P2)



(c) Curso hídrico (P3)



(d) Área de descarte irregular utilizada pelos moradores (P1)



(e) Obstrução de resíduos no bueiro duplo celular do curso hídrico (P2)



(f) Resíduos de construção sendo acarretado ao curso hídrico (P3)

Figura 3 – Registros fotográficos dos corpos hídricos estudados, evidenciando as condições de vegetação marginal e a presença de resíduos sólidos. Fonte: Autoria própria

Nos três pontos foi possível observar a presença de aves e insetos, mas apenas no P2 observou-se espécies de peixes, e o P3 o relato dos moradores próximos confirmaram a existência das espécies.

Apenas no P3 foi constatada a presença de residências e estabelecimentos instalados em Área de Preservação Permanente (APP), além da identificação de uma ligação clandestina lançada diretamente no córrego Água das Pedras. Entretanto, não foram observados sinais visuais típicos de poluição, como odor desagradável, alteração na coloração da água, ou presença de óleos e espumas (Figura 4).



Figura 4 – Presença de ligação clandestina no córrego da Água das Pedras.
Fonte: Autoria própria

Após a aplicação do PACEH, pode-se constatar que todos os pontos apresentaram erosão marginal (Figura 5), mais predominantemente no P2 (Figura 5b), resultado da obstrução do bueiro duplo celular por consequência dos resíduos sólidos acumulados (Figura 3d). Desse modo, o P2 deve ter uma presença moderada de solapamento, resultando na alteração da estrutura, e o grau de confinamento mais elevado em comparação com os outros pontos. Por fim, os três trechos analisados da bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia tem os seus trechos com baixas sinuosidades.



(a) Presença de erosão marginal (P1)



(b) Erosão marginal e solapamento (P2)



(c) Erosão marginal (P3)

Figura 5 – Erosão nos pontos de aplicação dos protocolos.
Fonte: Autoria própria

A partir dos trechos observados foi calculada a pontuação final referente a cada protocolo aplicado (PARU e PACEH) o que possibilitou analisar o grau de preservação e o nível de estabilidade (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação dos resultados dos protocolos PARU e PACEH, nos pontos amostrais da bacia do Ribeirão Lindóia.

Pontuação dos Protocolos	P1		P2		P3	
	ME	MD	ME	MD	ME	MD
Grau de Preservação – PARU	Razoável (9)	Razoável (9)	Razoável (9)	Boa (10)	Péssimo (3)	Péssimo (3)
Nível de Estabilidade – PACEH	Bom (14)	Bom (17)	Regular (32)	Regular (30)	Bom (19)	Bom (21)

Fonte: Autoria Própria.

A partir da análise das pontuações apresentadas na Tabela 2, nota-se que o PARU foi o protocolo que mais apresentou variação nas pontuações que refletem no grau de preservação dos corpos d'água. Apenas a margem direita do P2 apresentou uma boa pontuação e o P3 foi classificado como péssimo, refletindo a influência da ocupação no entorno do corpo hídrico.

Com relação ao nível de estabilidade do PACEH o P2 apresentou o pior resultado, refletindo os problemas apresentados nas Figura 3e e figura 5b.

Conclusão

A aplicação dos protocolos é de fácil interpretação e aplicação, podendo ser utilizadas para uma análise rápida, eficiente e de baixo custo, utilizada em cursos hídricos distintos, na qual tem o objetivo da avaliação da infraestrutura e o seu funcionamento do trecho. Vale ressaltar que, ao analisar as margens de modo isolado é obtido um resultado mais detalhado e completo, entre os pontos amostrais. Desse modo, o resultado do PARU, o P1 e a margem esquerda do P2 apresentou um resultado regular, apenas a margem direita do P2 deve uma qualificação boa e o P3 teve o pior resultado do protocolo (péssimo), o mesmo onde ocorria a presença de esgoto doméstico em seu curso hídrico, e está em uma área onde de acordo com o Novo Código Florestal Lei n°12.651/2010 deveria ser Área de Preservação Permanente (APP).

Já o resultado do Nível de Estabilidade do PACEH, ambos os P1 e P3 apresentaram uma boa qualidade, mas apenas o P2 deve sua pontuação regular, sendo o resultado do nível de erosão e o solapamento intenso, com obstrução do canal pelos resíduos sólidos.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo aporte financeiro e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnológica Brasiliensis**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CAMPOS, J. C.; NUCCI, J. C. Proposta de um protocolo de avaliação rápida para rios urbanos. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 267-286, 2019. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/65438. Acesso em: 08 jan. 2020.

CAMPOS, J. C.; NUCCI, J. C. Protocolo de Avaliação Rápida de Rios Urbanos (PARU) como ferramenta de monitoramento ambiental. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, Coimbra, n. 21, p. 121-138, jun. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.17127/got/2021.21.005.

FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Assessing stream channel stability at bridges in physiographic regions. Washington, D.C.: **Federal Highway Administration**, 2006. 157 p. (Report No FHWA-HRT-05-072).

GOMES, M. P. et al. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: Análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103-120, 2005.

RODRIGUES, A. S. de L. Uma visão holística sobre os ecossistemas fluviais. **Revista da Biologia**, São Paulo, v. 2, p. 8-11, 2009. Disponível em: https://revista.ib.usp.br/revistabiologia/article/view/12.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008a.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A.; MALAFAIA, G. Utilização dos protocolos de avaliação rápida de rios como instrumentos complementares na gestão de bacias hidrográficas envolvendo aspectos da geomorfologia fluvial: uma breve discussão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-9, 2010.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ÁGUAS DO TARUMÃ - APUCARANA - PR

1Andrea Sartori Jabur, 2Gustavo Natan Ferreira
1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: sartorijabur@gmail.com;
2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: gustavonatanferreira@hotmail.com;

Palavras-chave: análise morfométrica; parâmetros hidrológicos; aplicação de SIG.

Resumo

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica do escoamento hídrico e sua relação com o uso do solo e a mitigação de riscos ambientais. Este estudo teve como objetivo analisar as características morfométricas e hidrográficas da bacia do córrego Águas do Tarumã, localizada em um ambiente de relevo irregular. Foram utilizados Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Modelos Digitais de Elevação (MDE) para delimitação da bacia e extração de parâmetros como área, perímetro, comprimento do eixo principal e índices morfométricos. Os resultados indicaram que a bacia possui uma área de 2,53 km², perímetro de 6,40 km e coeficiente de compacidade de 1,13, indicando baixa suscetibilidade a inundações em condições de precipitação moderada. O fator de forma de 0,65 e a razão de elongação de 0,91 apontaram um formato ligeiramente alongado, enquanto a circularidade de 0,77 sugere tendências de escoamento mais rápido. A rede de drenagem foi classificada como de segunda ordem, com um padrão paralelo e baixa sinuosidade. Conclui-se que o estudo oferece subsídios para o planejamento sustentável da bacia, auxiliando na gestão de recursos hídricos e na mitigação de impactos ambientais, como erosão e enchentes.

Introdução

Uma bacia hidrográfica é um coletor natural de água da chuva, que direciona todo o escoamento para um único ponto de saída (Maia et al., 2020). Alves et al. (2019), argumenta que as bacias hidrográficas atuam como receptores de diversas influências, tanto de origem humana (interferências antrópicas) quanto de processos naturais (vegetação, topografia, clima), que moldam seus processos hidrológicos e ecológicos. Nesse contexto, o conhecimento detalhado das características físicas, biológicas e hidrológicas de uma bacia, assim como das atividades humanas que nela ocorrem, é a base para qualquer planejamento de uso sustentável dos recursos hídricos.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas tem se destacado na geomorfologia como uma ferramenta poderosa para compreender a evolução do relevo. O avanço das tecnologias e metodologias permite análises mais precisas e detalhadas, contribuindo para estudos em diferentes escalas geográficas. A qualidade dos dados topográficos utilizados nessas análises é fundamental, pois a precisão na representação da superfície terrestre influencia diretamente os resultados obtidos (Cherem, 2008).

Patel, Gajjar e Srivastava (2013), descrevem que a análise dos parâmetros morfométricos envolve o estudo de diversas características de drenagem, como o relevo da bacia, a razão de bifurcação, a ordem dos cursos d'água, a frequência e a densidade de drenagem, além do comprimento, perímetro e área da bacia. Segundo os autores, esse processo tem como principal objetivo compreender melhor as dinâmicas da bacia hidrográfica, permitindo representar sua topografia de forma detalhada.

Nesse sentido, o objetivo principal desse estudo foi realizar a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do córrego Águas do Tarumã, em Apucarana, no norte do estado do Paraná, visando analisar o seu comportamento hidrológico, através de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

Área de Estudo

A cidade de Apucarana está localizada na região norte do estado do Paraná (Figura 1). O município situa-se sobre um importante divisor de águas que separa as bacias hidrográficas dos rios Tibagi, ao Leste, Ivaí, ao Sul, e Paranapanema, ao Norte. A altitude na região varia entre 750 e 860 metros ao longo deste interflúvio principal, chegando a altitudes menores, abaixo de 500 metros, nas áreas situadas nas extremidades Leste, Oeste e Sul do município (Manosso; Nóbrega, 2008).

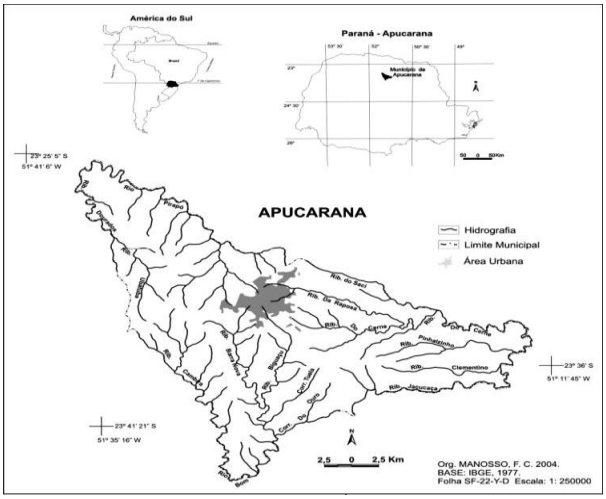


Figura 1: Mapa de localização da cidade de Apucarana (Manosso; Nóbrega, 2018)

O córrego Águas do Tarumã (Figura 2) localiza-se nos limites entre a zona urbana e rural da cidade, englobando parte do Núcleo Habitacional das Indústrias. A bacia possui grande área preservada e pertence ao principal corredor ecológico da cidade: o Parque da Raposa. Inserido na Bacia do Rio Tibagi, o Parque Ecológico da Raposa encontra-se sob domínio público e privado. Localizado nos limites entre as zonas urbana e rural, conserva remanescentes de Mata Atlântica e da Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária). Os lagos têm como afluente o córrego Ouro Fino, que foi parcialmente canalizado (Apucarana, 20--).

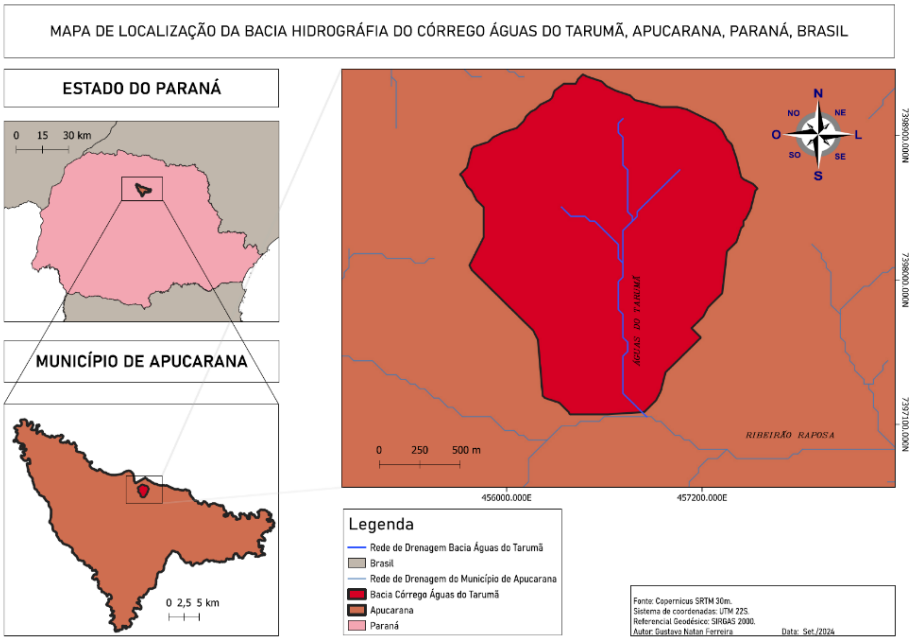


Figura 2: Delimitação da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã

Materiais e Métodos

A caracterização física, dados de elevação e declividade da sub-bacia hidrográfica do Córrego Águas do Tarumã foram obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) do tipo Copernicus DEM Global com resolução espacial de 30 metros, extraídas através do plugin OpenTopography DEM Dowloader no Quantum GIS (QGIS). Estes dados foram georreferenciados na projeção transversa de mercator (UTM, fuso 22S, SIRGAS 2000) em ambiente SIG. A malha hidrográfica digitalizada em SIG foi ordenada a partir da metodologia de Strahler (1964).

Os estudos morfométricos em bacias hidrográficas são divididos em 3 parâmetros: linear, areal e hipsométrico (Simões *et al.*, 2017). Na análise linear, são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Na análise areal, ocorrem medições planimétricas, além das lineares. A hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal de espaço, no que se refere a sua distribuição em relação às faixas de altitudes (Fontes, 2010).

A Tabela 1 ilustra os parâmetros morfométricos determinados para a bacia.

Tabela 1 – Parâmetros calculados para a bacia do córrego Águas do Tarumã

Parâmetro	Equação	Fonte	Número da Equação
Características Hidrográficas			
Densidade Hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{N_t}{A}$	Horton (1945)	1
Índice de Sinuosidade (Is)	$Is = \frac{L - L_s}{L} \cdot 100$	Schumm (1963)	2
Ordem de Drenagem	Hierarquia Fluvial	Stralher (1952)	-
Número de Segmentos	$N_t = N_1 + N_2 + \cdots + N_n$	Horton (1945)	3
Características Geométricas			
Área	-	Schumm (1963)	-
Comprimento do Talvegue (Lx)	-	Schumm (1963)	-
Perímetro (P)	-	Schumm (1963)	-
Fator de Forma (Kf)	$K_f = \frac{A}{L_b^2}$	Horton (1945)	4
Razão de Elongação (Re)	$R_e = 1{,}128 \cdot \frac{A^{0,5}}{L_b}$	Schumm (1963)	5
Índice de Circularidade (Ic)	$I_c = 12{,}53 \cdot \left(\frac{A}{P^2}\right)$	Miller (1953)	6
Coeficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0{,}28 \cdot \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$	Lima (1996)	7
Densidade de Drenagem (Dd)	$D_d = \frac{L_b}{A}$	Horton (1945)	8
Características de Relevo			
Índice de Rugosidade (Ir)	$I_r = \Delta H \cdot Dd$	Christofoletti (1969)	9
Declividade (S)	$S = \frac{Cota_{máx} - Cota_{mín}}{Lb}$	Villela e Matos (1975)	10
Relevo (Rr)	$R_r = \frac{\Delta H}{L}$	Christofoletti (1969)	11

Fonte: Adaptado Salis et al., (2019); Souza *et al.*, (2021).

Onde, Nt representa a quantidade de segmentos de rios dentro da bacia hidrográfica. A refere-se à área total da bacia, medida em quilômetros quadrados (km²). L é o comprimento do rio principal, também medido em quilômetros (km). Lb é o comprimento do eixo principal da bacia, expresso em metros (m). P indica o perímetro da bacia, também medido em metros (m). ΔH corresponde à diferença entre as cotas altimétricas, medida em metros (m).

Resultados e Discussão

Características Geométricas

As características geométricas da bacia hidrográfica do Córrego Águas do Tarumã são apresentadas na Tabela 2. A área da bacia é uma das características fundamentais na definição de sua potencialidade hídrica e hidrológica, quanto maior a área de uma bacia, menor a tendência de ocorrência de enchentes (Tucci, 2015).

Tabela 2 - Índices geométricos da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã

Característica Geométrica	Resultado
Área	2,53 km^2
Perímetro	6,40 km
Comprimento do Talvegue (L)	2,22 km
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,13
Fator de Forma (Kf)	0,65
Índice de Circularidade (Ic)	0,77
Razão de Elongação (Re)	0,91

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir da delimitação da bacia, obteve-se uma área total de 2,53 km² e perímetro de 6,40 km. O comprimento do eixo principal da bacia foi determinado em 1,97 km, o que possibilita uma melhor compreensão de sua forma. Quando analisado em conjunto com outras características, esse dado pode indicar se a bacia tem um formato mais alongado ou mais circular.

Com a obtenção do coeficiente de compacidade (Kc) de 1,13 (Tabela 2), a bacia é classificada como tendo baixa suscetibilidade a inundações em condições de precipitação moderada. De acordo com Villela e Mattos (1975), quanto mais o Kc se aproxima de 1, mais circular é o formato da bacia, o que aumenta a possibilidade de enchentes rápidas e intensas. Já o fator de forma (Kf), que apresentou o valor de 0,65, indica que a bacia tem um formato mais alongado, o que resulta em uma menor probabilidade de chuvas intensas atingirem toda a sua extensão simultaneamente. Isso ocorre porque, em bacias mais alongadas, o escoamento da água é mais lento, diferentemente de bacias mais circulares, que têm escoamento mais rápido e concentrado, aumentando a vulnerabilidade a enchentes.

A caracterização do fator de forma também pode ser complementada pelo índice de circularidade e pela razão de elongação, que para a bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã apresentam valores de 0,77 e 0,91, respectivamente (Tabela 2). Esses valores indicam que a bacia tem um formato mais próximo da circular, o que sugere uma tendência de escoamento mais rápido da água. Isso difere de uma bacia alongada e está de acordo com o valor do fator de forma, confirmando que a bacia é menos alongada do que outras com índices mais baixos de circularidade e elongação.

Características Hidrográficas

Os índices hidrográficos da bacia são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Tabela 3. As principais características de drenagem da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã incluem o comprimento total do rio principal, que é de 1,97 km, e a extensão do talvegue, que corresponde a 2,13 km. O córrego apresenta um total de 4,06 km de comprimento de drenagem em toda a extensão da bacia e 4 unidades de seguimentos de cursos d'água, sendo 3 de primeira ordem e 1 de segunda ordem. Tais valores irão influenciar diretamente nas características de densidade de drenagem, densidade hidrográfica e razão textura (Souza *et al.*, 2021)

Tabela 3 - Índices geométricos da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã

Característica Hidrográfica	Resultado
Número de Segmentos de Primeira Ordem	3
Comprimento do Rio Principal	1,97 km
Comprimento do Talvegue	2,22 km
Densidade de Drenagem (Dd)	0,78 $km \cdot km^{-2}$
Índice de Sinuosidade (Is)	12,07%
Ordem de Drenagem	2

Fonte: Elaborado pelos autores

O sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego Águas do Tarumã, apresenta um padrão de drenagem paralelo, seguindo a classificação proposta por Christofoletti (1980). Através da aplicação do método de Strahler (1957) para análise de ordens de cursos d'água, foi identificado que a bacia corresponde a uma drenagem de segunda ordem. Villela e Mattos (1975) argumentam que quanto maior o nível de ramificação da rede de drenagem, maior será sua eficiência. Isso significa que a água da chuva, ao iniciar seu escoamento superficial, terá um trajeto mais curto até atingir algum corpo d'água, favorecendo o escoamento mais rápido. Quanto ao índice de sinuosidade, o valor obtido foi de 12,07%, indicando que o córrego tem um padrão de fluxo próximo do retilíneo, com poucas curvas ou meandros significativos.

Características de Relevo

A análise das particularidades da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã possibilitou compreender a distribuição espacial das altitudes, conforme visualizado no Modelo Digital de Elevação (MDE), representado no mapa hipsométrico ilustrado na Figura 3.

A bacia do córrego Águas do Tarumã apresenta elevações que variam de 740 metros a 860 metros, sendo que seus pontos mais elevados se localizam na região Norte da bacia. De acordo com Castro Junior (2001), nas áreas de maior altitude, as temperaturas tendem a ser mais baixas, resultando em uma menor quantidade de energia disponível para a evaporação da água. Em contrapartida, em regiões de menor altitude, a maior parte da energia absorvida é direcionada para o processo de evaporação, intensificando a perda de água para a atmosfera.

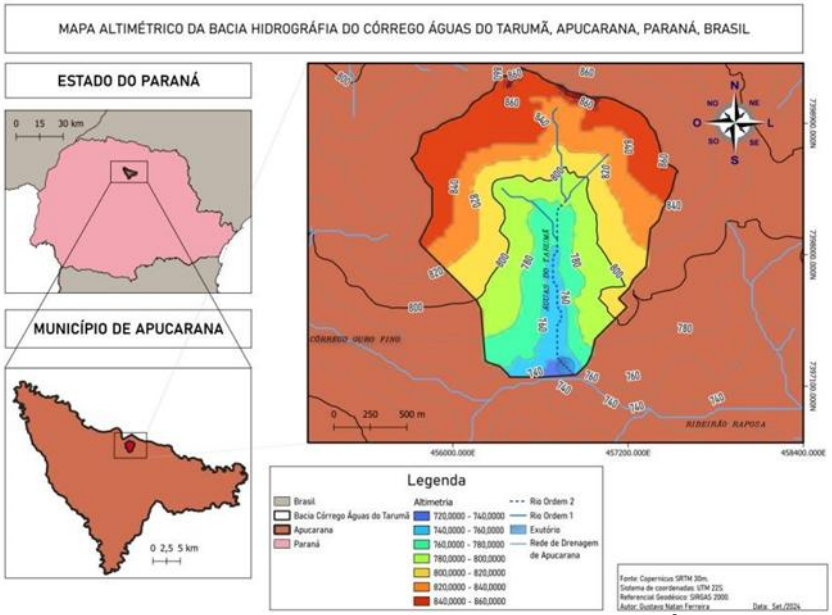


Figura 3 - Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã

A altitude máxima e mínima da bacia foram de 860 e 740 metros, respectivamente (Tabela 4). Assim, a amplitude altimétrica obtida foi de 120 metros. De acordo com Benatti *et al.* (2015), essas variações de amplitude têm pouca influência na quantidade de radiação solar que a bacia hidrográfica recebe e, consequentemente, impactam minimamente a evapotranspiração, a temperatura e a precipitação.

O índice de rugosidade é um indicador que associa a quantidade de escoamento hídrico superficial ao seu potencial de erosão (Simões *et al.*, 2017). Assim, um índice de rugosidade mais elevado implica em um maior risco de degradação da bacia, especialmente em áreas com vertentes íngremes e extensas. A bacia do córrego Águas do Tarumã apresentou um valor adimensional de índice de rugosidade de 93,53 indicando que a superfície do solo apresenta um nível significativo de irregularidade.

Tabela 4 – Índices de relevo da bacia hidrográfica do córrego Águas do Tarumã

Característica de Relevo	Resultado
Altitude máxima da bacia	$860\ m$
Altitude mínima da bacia	$740\ m$
Altitude média da bacia	$786\ m$
Amplitude métrica da bacia (ΔH)	$120\ m$
Declividade máxima da bacia	18,10%
Declividade média da bacia	3,60%
Índice de rugosidade (Ir)	13,53
Razão de relevo (Rr)	0,06
Declividade média do rio principal (S)	$0{,}020\ m \cdot m^{-1}$

Fonte: Elaborado pelos autores

Conclusão

Com base na análise dos parâmetros morfométricos e hidrográficos da bacia do córrego Águas do Tarumã, é possível compreender melhor suas características físicas e o comportamento hidrológico. A área total de 2,53 km², o perímetro de 6,40 km e o coeficiente de compacidade de 1,13 indicam que a bacia possui baixa suscetibilidade a inundações sob precipitações moderadas. A forma ligeiramente alongada, confirmada pelo fator de forma de 0,65 e pela razão de elongação de 0,91, favorece um escoamento mais lento e distribuído, reduzindo o risco de enchentes rápidas e concentradas. No entanto, a circularidade de 0,77 sugere que o padrão de drenagem pode acelerar o escoamento em algumas condições específicas.

O padrão de drenagem paralelo e a classificação da bacia como de segunda ordem, segundo o método de Strahler, reforçam a eficiência do sistema de drenagem, com um total de 4,06 km de cursos d'água distribuídos em 4 segmentos. O índice de sinuosidade de 12,07% aponta para um córrego predominantemente retilíneo, o que influencia o comportamento do fluxo e potencializa a velocidade do escoamento superficial. Adicionalmente, a amplitude altimétrica de 120 metros e o índice de rugosidade de 93,53 destacam a irregularidade do terreno, com implicações diretas no risco de erosão e na dinâmica de infiltração e transporte de sedimentos.

Esses resultados são fundamentais para o planejamento e a gestão da bacia hidrográfica, especialmente no contexto de práticas de conservação ambiental e controle de impactos hídricos. A compreensão detalhada da morfometria e dos processos hidrológicos possibilita identificar áreas críticas e priorizar intervenções que promovam a sustentabilidade do uso do solo e a mitigação de riscos ambientais, como erosão e inundações. Assim, este estudo contribui para a formulação de estratégias que equilibrem o aproveitamento dos recursos hídricos e a preservação ambiental da bacia do córrego Águas do Tarumã.

Referências Bibliográficas

ALVES, W. S., MARTINS, A. P., AQUINO, D. S., MORAIS, W. A., PEREIRA, M. A. B., & Saleh, B. B. (2019). **Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(3),1093-1113.https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/236063/33032.

BENATTI, D.P., TONELLO, K.C., LEITE, E.L., FARIA, L.C., 2015. **Morfometria, uso e ocupação do solo de uma microbacia em Sete Barras, São Paulo**. Irriga 20, 21-32.

CASTRO JUNIOR, E. **O papel da fauna endopedônica na estruturação física dos solos e o seu significado para a hidrologia de superfície**. 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da bacia do alto do Rio das Velhas - MG**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHISTOFOLETTI, A., 1969. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas**. Notícias Geomorfológicas 18, 35-64.

FONTES, Aracy Losano. **Geomorfologia fluvial e hidrografia**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, Cesad, 2010.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America Bull. n.56. 1945.

LIMA, W. de P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. 1996.

MAIA, D. S., AZEVEDO, A. A. G., COSTA, C. R., & MACIEL, G. F. (2020). **Contribuição socioeconômica da sub-bacia hidrográfica do rio Caiapó para o município de Marianópolis do Tocantins**. Revista Sítio Novo, 4(4),217-229.http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2020.v4.i4.217-229p

MILLER, V.C. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee**. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University. 1953.

MANOSSO, F. C.; NÓBREGA, M. T. de. 2008. **A estrutura Geoecológica da paisagem como subsídio à análise geoambiental no município de Apucarana- PR**. Revista Geografar.

PATEL, D. P.; GAJJAR, C. A.; SRIVASTAVA, P. K. **Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective**. Environmental earth sciences, v. 69, n. 8, p. 2643-2656, 2013.

SCHUMM, S. A., LICHTY, R. W. **Time, space and causality in Gemorphology**. Amer. Jour. Science (1965), 263, pp. 110-119.

SILVA, M. T.; DA SILVA, V. P. R.; DE SOUZA, E. P.; DE OLIVEIRA, V. G. **Morphometric analysis of the low middle São Francisco River basin**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 4, n. 8, p. 168-174, 2014.

SIMÕES, A. O., SILVA, H. A., METELO, K. C. C., SANTOS, S. A., NASCIMENTO, V. E. N., SANTOS, C. C. P.. **Análise morfométrica da bacia do rio Cuiabá como subsídio à gestão de bacias hidrográficas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG, 2017. Disponível em: https://www.repositoriodigital.univag.com.br/index.php/engambient/article/view/361/362#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20morfom%C3%A9trica%20da%20bacia,enchentes%20e%20inunda%C3%A7%C3%B5es%20no%20munic%C3%ADpio

SOUZA, E. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C. do; CRUZ, E. A. da; PEREIRA, D. F.; SILVA, R. S. da; SILVA, T. P. da; FREIRE, W. A. **Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1530-1540, 2021.

STRAHLER, A.N. 1952. **Hypsometric analysis of erosional topography**. Bull. Geol. Soc. Am., v.63, p.111-1141.

TUCCI, C.E.M., 2015. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 944 p.

DINÂMICA ESPAÇOTEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL (PR)

1Stephanie Luana Urata; 2Fernando Henrique Zaran Moreira; 3Larissa Baptistuci Piacenza; 4Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail:stephanieurata@alunos.utfpr.edu.br; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: fernando_hzm@hotmail.com; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: bp_larissa@hotmail.com; 4Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: kprates@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Análise Multitemporal; Geoprocessamento; Manancial de Abastecimento.

Resumo

Uma gestão eficaz de bacias hidrográficas exige uma abordagem holística que considere os elementos ambientais, sociais e econômicos como partes interdependentes de um sistema único. Dentre as bacias hidrográficas, aquelas que servem como mananciais de abastecimento de água possuem um papel central, não apenas no fornecimento de recursos hídricos, mas também na manutenção da qualidade ambiental. Entre os instrumentos de análise ambiental, o estudo do uso e cobertura do solo se destaca como ferramenta estratégica para compreender as dinâmicas espaciais e temporais que moldam a paisagem. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar e quantificar o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal (BHRC), situada nos municípios de Rolândia, Cambé e Londrina, no norte do Paraná, no período de 1985 a 2020, visando subsidiar a conservação ambiental dessa bacia, especialmente no contexto da gestão de mananciais. Para a análise espaço temporal, foram utilizados dados do MapBiomas, com arquivos *GeoTiff* da coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, com intervalos de 5 anos entre as representações. Mapas temáticos da mudança na BHRC foram elaborados, e o Diagrama de Sankey foi empregado para ilustrar o fluxo da dinâmica do uso e cobertura do solo. Os resultados evidenciaram que os dados geoespaciais disponíveis são ferramentas eficazes para o monitoramento ambiental, fornecendo informações confiáveis e acessíveis para pesquisas em sensoriamento remoto. A bacia apresentou, historicamente, predominância da agropecuária, relacionada aos processos de colonização agrícola da região. Contudo, observou-se um avanço progressivo da urbanização nas últimas décadas, especialmente nas proximidades dos centros urbanos de Cambé, promovendo mudanças significativas na paisagem. A partir dos anos 2000, verificou-se também o surgimento de áreas urbanizadas voltadas à implantação de condomínios horizontais de alto padrão na zona de manancial. Apesar das pressões antrópicas, a cobertura vegetal demonstrou relativa estabilidade, com tendência de recuperação após 2005, impulsionada por ações de adequação ambiental em áreas rurais. Conclui-se que a BHRC se encontra em processo de transição, exigindo estratégias integradas que conciliem o desenvolvimento urbano e produtivo com a conservação dos recursos naturais.

Introdução

A gestão das bacias hidrográficas no Brasil é orientada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei n° 9.433/1997, que define a bacia como a unidade territorial básica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, com o objetivo de assegurar a sustentabilidade dos corpos d'água (Brasil, 1997). Uma gestão eficaz das bacias hidrográficas exige uma abordagem holística que considere todos os elementos ambientais, sociais e econômicos como partes interdependentes de um sistema único. Nesse sentido, os diferentes tipos de análise são essenciais para o reconhecimento da área em estudo, subsidiando a caracterização de seus atributos físicos, bióticos e antrópicos, fundamentais para diagnósticos ambientais e ações de planejamento territorial (Silva, 2021).

Dentre as bacias hidrográficas, aquelas que servem como mananciais de abastecimento de água possuem um papel central, tanto de fornecimento de recursos hídricos quanto na manutenção da qualidade ambiental. A preservação dessas bacias é essencial para garantir o acesso à água potável e a qualidade da água.

Entre os instrumentos de análise ambiental, o estudo do uso e cobertura do solo se destaca como ferramenta estratégica para a compreensão das dinâmicas espaciais e temporais que moldam a paisagem. Essa análise permite identificar padrões de ocupação, transformações na cobertura vegetal e alterações nos ecossistemas naturais, possibilitando a avaliação dos impactos antrópicos sobre os recursos naturais. Tais estudos são frequentemente conduzidos por meio de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais têm se mostrado ferramentas relevantes na produção e organização de informações geoespaciais em diferentes contextos de planejamento e monitoramento ambiental (Zhao; Liu, 2016; Medeiros; Lunardi; Lunardi, 2022).

A caracterização da configuração espacial e dos padrões de alteração do uso e ocupação do solo baseia-se em métodos de avaliação multitemporal, os quais utilizam métricas espaciotemporais para mensurar características da paisagem e descrever suas mudanças ao longo do tempo. Essas métricas permitem quantificar a complexidade dos padrões de uso do solo em diferentes escalas espaciais e temporais, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e para o desenvolvimento de estratégias de gestão territorial (Llausàs; Nogué, 2012; Sapena; Ruiz, 2019; Silva; Capoane, 2024). O monitoramento do uso e cobertura do solo possibilita detectar tendências como a expansão urbana, a substituição de áreas naturais por culturas agrícolas, o desmatamento e outras formas de pressão antrópica, contribuindo para a prevenção de conflitos ambientais e o direcionamento de ações sustentáveis.

Nesse contexto, destaca-se o projeto MapBiomas, uma iniciativa colaborativa e multi-institucional voltada à produção de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil e de outros países da América Latina. O projeto visa monitorar as transformações territoriais ao longo do tempo, promovendo a transparência e o acesso público a dados geoespaciais de alta qualidade. Atualmente, o MapBiomas se encontra em sua nona coleção de mapas anuais, abrangendo o período de 1985 a 2023, com dados disponibilizados gratuitamente em diferentes formatos, como plataforma interativa, *Google Earth Engine* e arquivos *GeoTIFF* (MapBiomas, 2025). A ampla acessibilidade e abrangência temporal dessas informações tornam o MapBiomas uma ferramenta prática e eficaz para estudos de planejamento ambiental, conservação e formulação de políticas públicas.

Deste modo, esse trabalho teve por objetivo utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar e quantificar o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal, no período de 1985 a 2020, com dados fornecidos pelo MapBiomas, de forma a servir de subsídio para a conservação ambiental desta bacia, especialmente no contexto da gestão de mananciais e do abastecimento hídrico.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (BHRC) é uma bacia intermunicipal situada nos municípios de Rolândia, Cambé e Londrina, no norte do Paraná (Figura 1), sendo um dos principais afluentes da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi (BHRT).

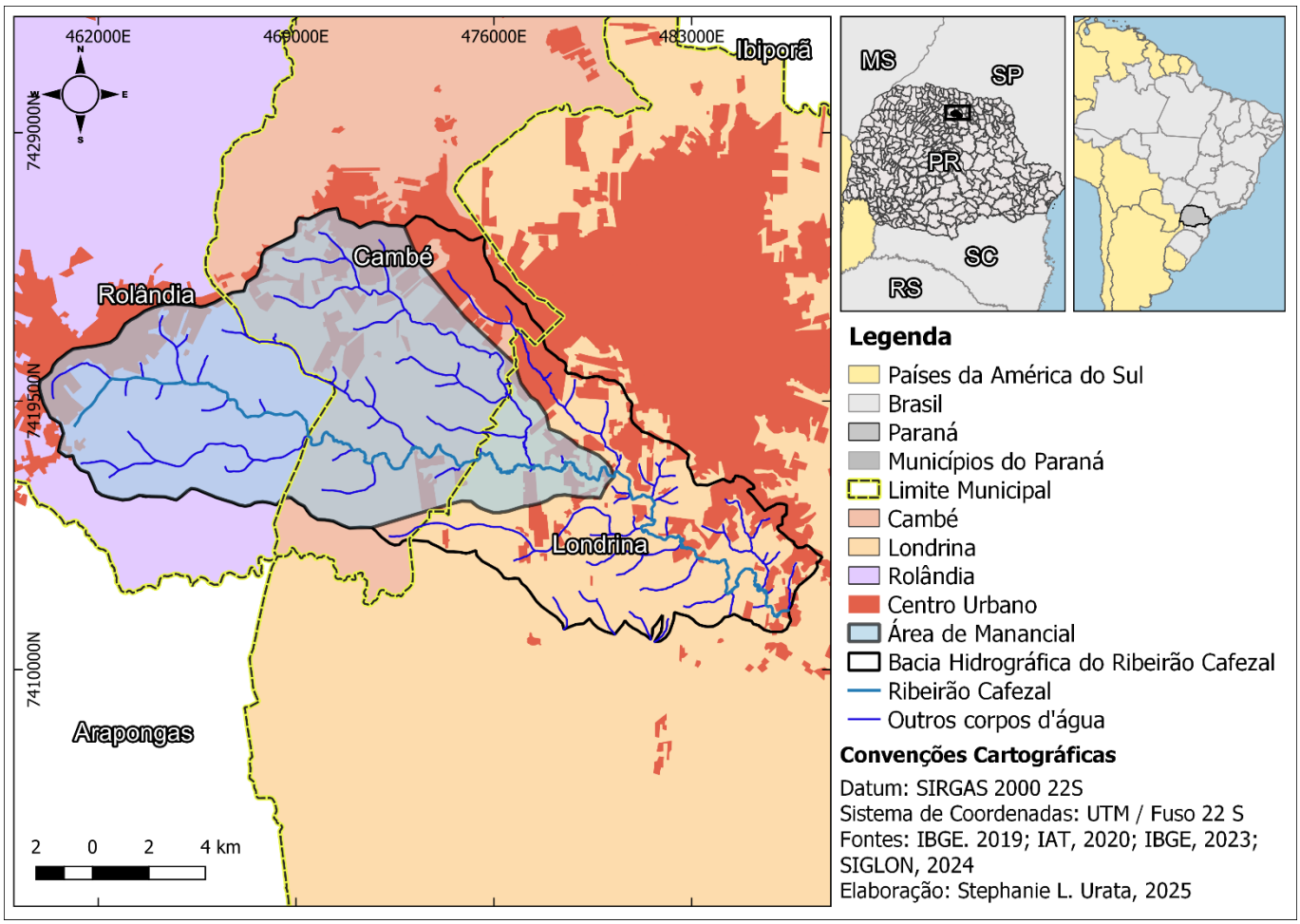


Figura 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal

O ribeirão Cafezal, principal corpo d'água que dá nome à bacia, é o segundo principal manancial de abastecimento para os municípios de Londrina e Cambé, estando enquadrado como Classe II (Silva, 2006; Londrina, 2018; ANA, 2021). Sua nascente está localizada no município de Rolândia, e seu curso se estende até sua foz no ribeirão Três Bocas, em Londrina, percorrendo cerca de 42 km - desses, 27,3 km até a captação de água. O ribeirão atravessa uma paisagem diversificada, que alterna entre áreas rurais e urbanas, refletindo as mudanças no uso do solo ao longo de seu trajeto.

Análise espaço temporal do uso e cobertura do solo

Para a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo, foram obtidos dados do MapBiomas em arquivos *GeoTiff* da coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, para os anos de 1985 a 2020, em um intervalo de 5 anos entre as representações (MapBiomas, 2021). Após a aquisição dos dados, realizou-se o recorte da bacia e calculou-se a área de cada classificação da cobertura do solo. As classes originais de uso do solo do MapBiomas (agricultura, pastagem, mosaico agropastoril, área urbana, outras áreas não vegetadas, formação florestal e corpo d'água) foram agrupadas em quatro categorias principais: Área Rural, Área Urbana, Formação Florestal e Ambiente Aquático.

Para ilustrar o fluxo da dinâmica do uso e cobertura do solo utilizou-se o Diagrama de Sankey. As barras representam a quantidade de área que permanecem ou mudam de classe ao longo do tempo analisado, sendo a largura expressa pela quantificação de mudança de classe (Lopes, 2023).

Resultados e Discussões

Os resultados quantitativos para os valores encontrados para cada classe de cobertura do solo na BHRC estão dispostos na Tabela 1, com a representação visual na Figura 2 e diagrama Sankey na Figura 3. A classe de ambiente aquático apresentou uma pequena variação média (0,33 ±0,09) e por isso foi desconsiderada no diagrama.

Tabela 1 - Cobertura e Uso do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia (%) no período de 1985 a 2020

Cobertura e Uso	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Área Rural	84,2	85,9	84,6	81,4	78,9	76,9	74,8	71,1
Área Urbana	4,3	5,2	6,8	10,3	12,6	14,5	15,9	17,6
Formação Florestal	11,2	8,6	8,2	8,1	8,2	8,4	9,0	11,0
Ambiente Aquático	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3

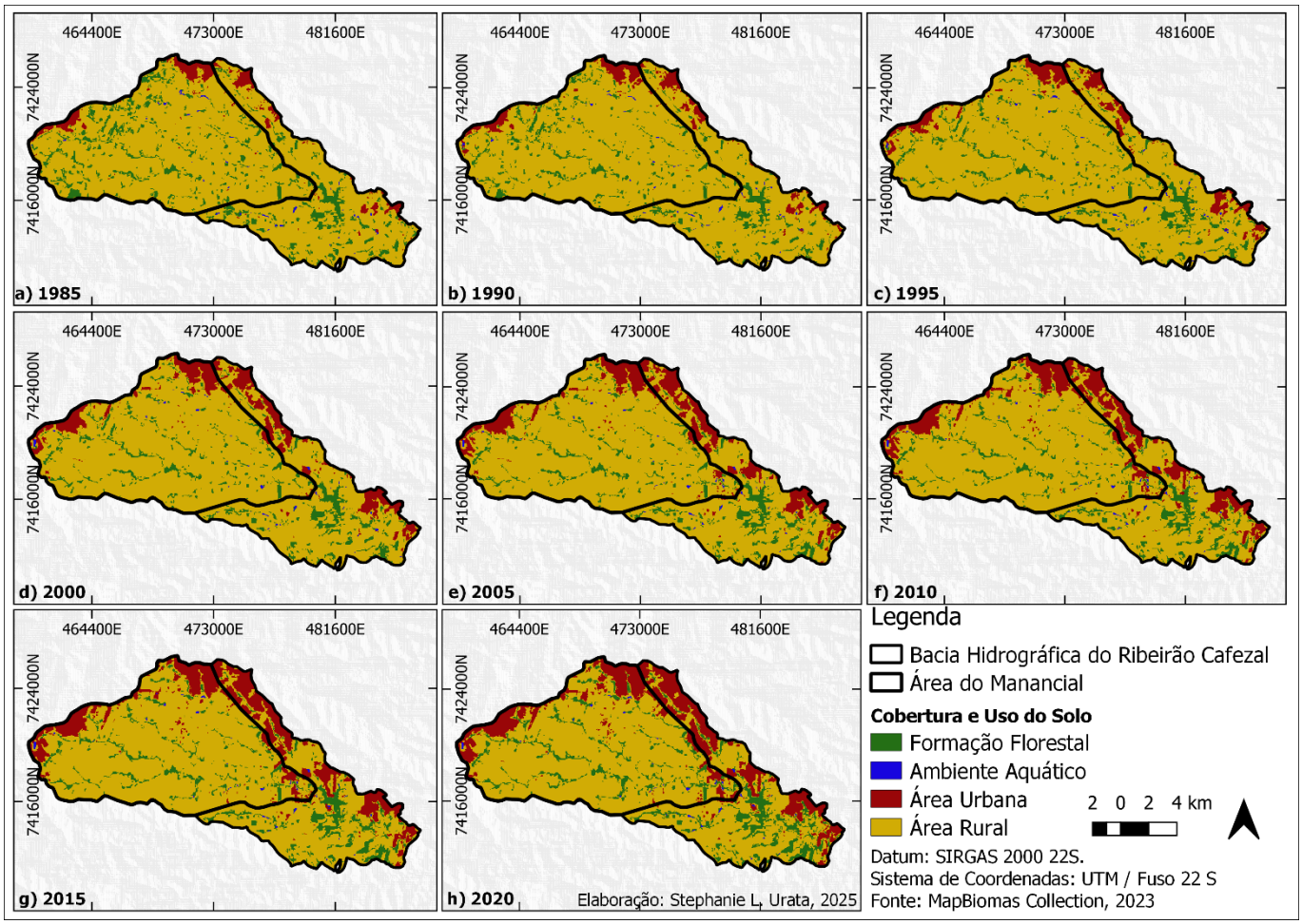


Figura 2: Cobertura e Uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período de 1985 a 2020

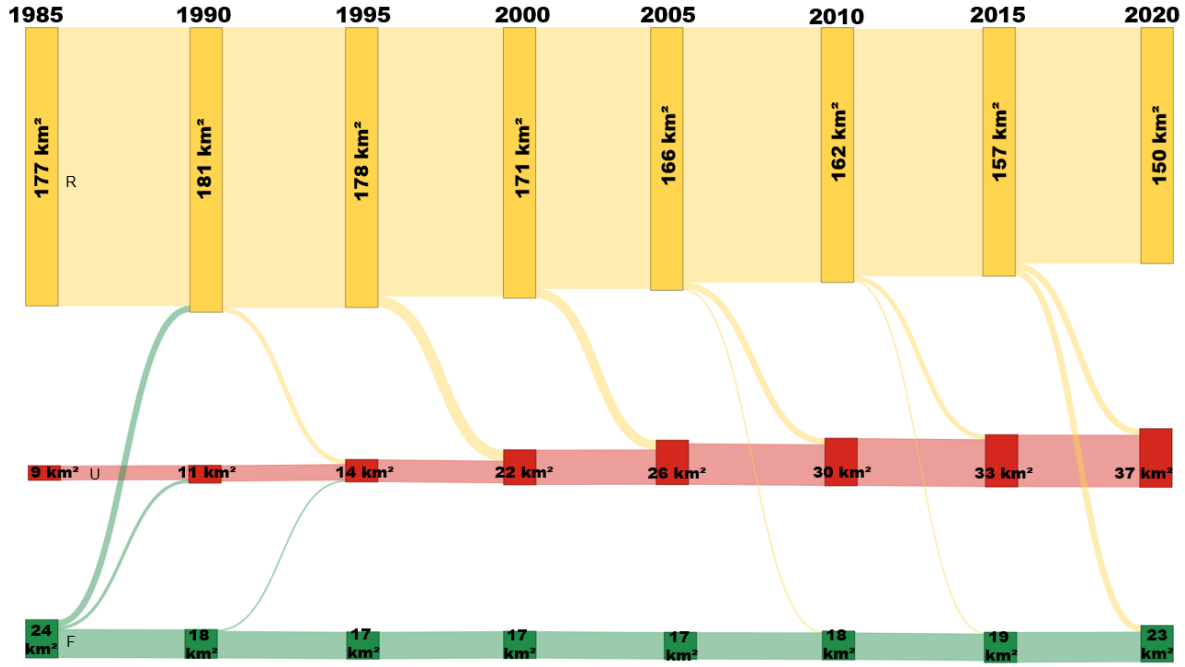


Figura 3: Diagrama de Sankey demonstrando os fluxos de origem e transição do uso do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Cafezal. R = Área Rural (amarelo); U = Área Urbana (vermelho) e F = Formação Florestal (verde)

Com base na análise espaço temporal, observa-se que a prática agropecuária já estava bem estabelecida na BHRC. Essa configuração deve-se pela fundação dos municípios, que está ligada à história da colonização do norte do Paraná no começo de 1920, com o incentivo por parte do Governo Federal na implementação de companhias colonizadoras com o objetivo de expandir a produção agrícola na região (Paraná, 1975). Segundo Silva (2006), a bacia apresenta solos com grande fertilidade e topograficamente favoráveis à utilização agrícola, fato este que permitiu rápida ocupação e grande dinamismo em sua economia.

Pelo período analisado, a bacia ainda pode ser caracterizada como uma bacia predominantemente rural. Em 1985 possuía 84,2% do seu território destinado às práticas de agricultura e pastagem em uma área de aproximadamente 177 km². Ao longo dos anos, esse valor foi reduzindo em pequenas escalas, chegando em 2020 com 71,1%, equivalente à 149,6 km². Dentre os usos agrícolas, destaca-se o plantio de soja, que ocupava 2,82% da área da bacia em 1985 e passou a representar 38% em 2020, refletindo a crescente importância econômica desse grão no mercado internacional (Moreira, 2022). De acordo com Piacenza (2022), até o ano de 1975 predominava a cultura permanente do café, a qual foi substituída por culturas temporárias, principalmente pela soja e trigo. Houve uma diminuição nas áreas de pastagem, possivelmente associada à redução do número de pequenas propriedades rurais (Moreira, 2022).

Pela diminuição das áreas rurais é que se deu origem às áreas urbanas na bacia. Em 1985, a BHRC apresentava uma área urbana de 4,3%, com 9,12 km², e a partir dos anos 2000 esse valor mais que dobrou (21,6 km²). Em 2020, a bacia tinha 17,6% do seu território urbanizado. O período entre 1990 e 2000 foi marcado pelo aumento populacional, coincidindo com a expansão urbana na bacia: os municípios de Londrina, Cambé e Rolândia passaram de 390.100, 73.842 e 43.776 habitantes, respectivamente, para 447.065, 88.186 e 49.410 habitantes (IBGE, 1991; IBGE, 2000), e, no último censo, os três municípios abrigavam, na mesma ordem, 555.965, 107.208 e 71.670 habitantes (IBGE, 2022).

Na área do manancial de abastecimento em Londrina, bem próximo da captação, até 1990 não havia indícios de urbanização, cenário que começou a mudar a partir dos anos 2000, e em 2005 começou a ter um aumento expressivo com a construção de complexos de condomínios horizontais de alto padrão. Nos demais territórios, a expansão urbana se concentrou na zona norte da bacia, região a qual tange os centros urbanos das cidades de Londrina, Cambé e Rolândia. Como deduzido por Morais (2015), a BHRC está passando por uma fase de transformação da sua paisagem. No perímetro londrinense, a BHRC abrange parte da uma Área de Expansão Urbana de Desenvolvimento Sustentável (AEU-DS), destinada aos equipamentos regionais, às atividades de turismo, lazer e usos de apoio, bem como parte de uma Área de Expansão Urbana de Interesse Social (AEU-IS), voltada à demanda por habitação, infraestrutura e equipamentos públicos para a população de baixa renda, projetos urbanísticos que compõem o Plano Diretor Municipal de Londrina aprovados pela Lei Municipal nº 13.718/2023 (Londrina, 2023). Em Cambé, uma parcela da bacia denominada como "Cafezal 3" está destinada à construção de conjuntos habitacionais (parcelamento do solo para fins urbanos vinculado à construção da edificação), conforme Lei Municipal n° 3.015/2020. Estas áreas destinadas à expansão, indicam que nos próximos anos a taxa de urbanização aumente.

Para Bekele et al. (2025) a expansão urbana e agrícola conduzem à degradação dos serviços ecossistêmicos, ou seja, dos benefícios fundamentais para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, refletindo diretamente na qualidade de vida das pessoas (Brasil, 2024). Na perspectiva rural, a problemática ambiental é caracterizada principalmente pelo desmatamento, uso intensivo de agrotóxicos, erosão do solo e uso insustentável dos recursos hídricos (Santos; Rocha; Portella, 2022. Na área urbana, as questões ambientais também se relacionam

à erosão do solo e diminuição da qualidade da água, impulsionados pela impermeabilização do solo. Em paralelo, o aumento populacional vem intensificando os impactos devido aos padrões de produção e consumo em grandes escalas (Tucci; Mendes, 2011; Mukherjee et al. 2019).

Quanto a cobertura vegetal, não foram observadas mudanças expressivas na formação florestal ao longo do período analisado. Como observado por Pedraci (2023), a maior parte da área de vegetação já não existia desde a década de 1980. Em 1985 representavam 11,2% da área da bacia, e apesar de uma redução nas décadas seguintes, sobretudo em decorrência da expansão urbana na década de 1990, houve uma tendência de recuperação a partir de 2005, impulsionada por ações de adequação ambiental em áreas rurais. Em 2020 aproximou-se ao seu valor inicial, representando 11% (23,1 km²) do território.

Considerações Finais

A análise espaço temporal da dinâmica de uso e cobertura do solo da BHRC permitiu identificar mudanças na paisagem ao longo das últimas décadas, evidenciando o avanço das atividades antrópicas. Conclui-se que a bacia apresenta um histórico marcado pela forte presença da agropecuária desde os primeiros processos de ocupação territorial, fortemente influenciados pelo contexto da colonização agrícola incentivada no norte do Paraná. Ao longo dos últimos 35 anos, a bacia passou por transformações, na qual a agropecuária cedeu gradualmente espaço ao avanço da urbanização, especialmente nas regiões próximas aos centros urbanos de Londrina, Cambé e Rolândia. A crescente urbanização da bacia, impulsionada pelo aumento populacional e por políticas de expansão urbana, tem promovido uma reconfiguração da paisagem.

A área do manancial de abastecimento em Londrina permaneceu preservada até o início da década de 1990, sem sinais significativos de urbanização. No entanto, a partir dos anos 2000, esse cenário começou a se transformar, culminando, em 2005, com um processo acelerado de ocupação do solo, marcado pela implantação de condomínios horizontais de alto padrão.

Apesar das pressões antrópicas, a cobertura vegetal da bacia demonstrou certa estabilidade no período analisado, com leve tendência de recuperação após 2005, fruto de iniciativas de adequação ambiental, em especial em áreas rurais.

Nesse contexto, destaca-se a importância do Plano Diretor Municipal como instrumento para orientar o ordenamento territorial e promover o desenvolvimento urbano de forma sustentável. O Plano Diretor, ao estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do solo, pode contribuir para a proteção de áreas de manancial, controlar a expansão urbana e incentivar práticas que integrem a conservação ambiental com o crescimento das cidades.

Diante desse cenário, é possível afirmar que a BHRC se encontra em um processo de transição em que os desafios de conciliar desenvolvimento urbano e produtivo com a conservação ambiental tornam-se cada vez mais urgentes. A compreensão das transformações espaciais e temporais oferece subsídios essenciais para o planejamento sustentável, reforçando a necessidade de ações integradas que conciliem o desenvolvimento socioeconômico com a preservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida das populações inseridas nesse território.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Atlas Águas. **Sistema Integrado - Sistema Adutor de Cambé – Londrina**. Brasília: ANA, 2021.

BEKELE, B. et al. Urban expansion-induced land use land cover changes and the subsequent changes in ecosystem service and land surface temperature in the central highland of Ethiopia, **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 26, 2025. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100626 Acesso em: 19 de abr. de 2025.

BRASIL. **Lei n°9.433, de 8 de janeiro de 1997**. 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. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Serviços Ecossistêmicos**. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/servicos-ecossistemicos Acesso em: 19 de abr. de 2025.

CAMBÉ (cidade). **Lei n° 3.015, de 23 de outubro de 2020.** Ementa: dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo urbano do município de Cambé e dá outras providências. Prefeitura de Cambé, 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 1991:** resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/ Acesso em: 21 de abr. de 2025.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2000**: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/ Acesso em: 21 de abr. de 2025.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2022**: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/ Acesso em: 21 de abr. de 2025.

LLAUSÀS, A.; NOGUÉ, J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, pp. 85–91, 2012. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.016 Acesso em: 19 de abr. de 2025.

LONDRINA (cidade). **Lei nº 13.718, de 21 de dezembro de 2023**. Institui a Lei da Divisão Territorial do Município de Londrina, definindo as divisas dos distritos administrativos; os perímetros das áreas urbanas; a delimitação das áreas de expansão urbana e a delimitação das regiões e bairros que compõem a área urbana do Distrito Sede do Município de Londrina. Londrina: Prefeitura de Londrina, 2023.

LONDRINA (cidade). **Plano Diretor Municipal de Londrina 2018-2028**. Relatório Final da Etapa 2: Avaliação Temática Integrada do Plano Diretor Municipal de Londrina. Londrina, 2018.

LOPES, M.C. dos S. **Efeitos da urbanização no uso e cobertura do solo e na temperatura de superfície da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé - Paraná**. 2024. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2024.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2021. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/downloads/ Acesso em: 24 de mar. de 2025.

MAPBIOMAS. **O Projeto**. 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/ Acesso em: 15 de abr. de 2023.

MEDEIROS, F.H.F.; LUNARDI, D.G.; LUNARDI, V.O. Integração de análise de decisão multicritério e SIG para auxílio à tomada de decisão em zoneamentos ambientais. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.1, p.358-377, 2022. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0027. Acesso em: 27 de abr. de 2025.

MORAIS, M.L.R. **Uso e ocupação do solo e sua relação com as características limnológicas da bacia do Ribeirão Cafezal – Londrina/PR**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

MOREIRA, F.H.Z. **Avaliação do uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão Cafezal utilizando ferramenta de classificação temática de imagens**. 2022. 31p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

MUKHERJEE, A. et al. Impact of sanitation and socio-economy on groundwater fecal pollution and human health towards achieving sustainable development goals across India from ground-observations and satellite-derived nightlight. **Sci Rep**, v. 9, p. 1-11, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-50875-w. Acesso em: 16 de jun. de 2024.

PARANÁ (Estado). Companhia Melhoramentos Norte do Paraná. **Colonização e desenvolvimento do Norte do Paraná**. Publicação Comemorativa do Cinquentenário da Companhia Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP). São Paulo, 1975.

PEDRACI, E.R. **Aspectos climáticos, hidrológico e uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal – PR**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

PIACENZA, L.B. **Influência da precipitação pluviométrica para as estruturas limnológica e microbiológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

SANTOS, M.G.B. dos; ROCHA, G.A.; PORTELLA, A.R. Impacto da agricultura na qualidade da água: uma breve revisão. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 18, n. 1, 2022.

SAPENA, M.; RUIZ, L.A. Analysis of land use/land cover spatio-temporal metrics and population dynamics for urban growth characterization. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 73, pp. 27-39, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.08.001 Acesso em: 19 de abr. de 2025.

SILVA, I. dos S.; CAPOANE, V. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Verde – MS. **Revista Pantaneira,** v. 25, EDIÇÃO ESPECIAL XXIII ENSUL, UFMS, Aquidauana-MS, p. 26 – 37, 2024.

SILVA, J.A. da. **Tendências do novo rural na bacia do ribeirão Cafezal**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

SILVA, R.C.F. da. **Análise da bacia hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI):** Subsídio ao Planejamento Ambiental. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: MMA, 302 p., 2006.

ZHAO, M.; LIU, X. Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety. **Safety Science**, v. 87, pp. 18-84. 2016. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.016 Acesso em: 19 de abr. de 2025.

SOFTWARE BFLOW PARA DIMENSIONAMENTO DE BUEIRO HIDRÁULICO COMO CANAL LIVRE

1Guilherme Vastay Vieira, 2Andrea Sartori Jabur, 3Rodolfo Krul Tessari
1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: engvastay@gmail.com; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: jabur@professores.utfpr.edu.br; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: rtessari@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Programa Computacional; Bueiros; Canal Livre.

Resumo

Os bueiros são estruturas de drenagem que auxiliam o encaminhamento das águas nos fundos de vale, bem como das águas coletadas por outras estruturas de drenagem (como por exemplo as sarjetas). Os dois principais tipos de bueiros são os celulares, que apresentam seção transversal quadrada ou retangular, e os tubulares, que apresentam seção transversal circular. Os bueiros podem ser construídos com diversos materiais, sendo os mais comuns concreto e aço. Em relação a esses elementos de drenagem, o DNIT apresenta uma série de recomendações para sua construção e dimensionamento. Por conta disso, o presente trabalho objetivou desenvolver o software BFlow, capaz de dimensionar esses elementos de drenagem levando em consideração essas recomendações, utilizando o método do canal livre. A linguagem de programação utilizada para essa finalidade foi o Visual Basic e a criação da interface gráfica foi feita com o auxílio da IDE do Visual Studio. Os resultados do programa foram comparados com outros softwares e com um estudo de caso. Durante a validação, observou-se apenas diferenças oriundas de arredondamentos ou simplificações. Portanto, é possível afirmar que o software desenvolvido pode ser utilizado satisfatoriamente para auxiliar os estudos relacionados ao dimensionamento de bueiros como canais livre e como uma ferramenta de auxílio em sala de aula.

Introdução

Jabôr (2020) define drenagem como a ciência que tem como finalidade remover ou impedir o excesso das águas (profundas ou superficiais) por meio de um eficiente sistema de drenagem, a fim de melhorar tudo sobre o que ela possa influir. Segundo Gaia (2014), o sistema de drenagem tem origem na agricultura, na utilização de técnicas de escavação de valas, cujo objetivo era manter a propriedade irrigada por toda a extensão.

Para Rocha (2013), obras de drenagem estão presentes em rodovias, ferrovias, aeroportos e área urbanas. Conforme Dotto (2015), os dispositivos de drenagem devem ser desenvolvidos de forma a atender uma determinada vazão obtida por meio das características da bacia hidrográfica e serem capazes de garantir todo o escoamento da água.

De acordo com Chanson (2004, apud GAIA, 2014), as primeiras obras de drenagem de que se tem registros correspondem aos bueiros construídos em Creta e no nordeste da Itália pelos povos Minuanos e Etruscos, respectivamente. Os bueiros são importantes elementos do sistema de drenagem e têm como funcionalidade ser um agente facilitador, auxiliando na transposição de águas sem comprometer o percurso devido a algum obstáculo, podendo ser uma rodovia ou ferrovia (SANTOS, 2017).

Para Gaia (2014), a ausência de bueiros em meios urbanos, rodovias e ferrovias pode causar uma série de patologias, em razão da infiltração da água diretamente nos pavimentos, resultando em fissuras, rompimento, erosões e até mesmo ruptura da estrutura viária.

Santos (2017) afirma que para a avaliação do bom funcionamento de um bueiro deve-se ter como base sua vazão, velocidade e declividade. Devido a esses e outros parâmetros adicionais, o dimensionamento de um bueiro comumente exige cálculos iterativos envolvendo simulações, a fim de atender uma determinada vazão máxima de projeto. Segundo Ziemer (2003), utilizar linguagens de programação para elaborar rotinas de cálculo permite que, durante o processo de dimensionamento, sejam reduzidos tanto os erros quanto o tempo necessário para a sua conclusão.

Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento do software BFlow, seguindo as recomendações do DNIT para o dimensionamento de um bueiro hidráulico.

Metodologia

O software foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Visual Basic, por meio da plataforma Visual Studio, ambas desenvolvidas pela empresa Microsoft. A versão utilizada da plataforma corresponde à versão gratuita, denominada Community, que corresponde a um ambiente de desenvolvimento integrado, onde é possível desenvolver a interface gráfica de modo concomitante à implementação dos algoritmos.

As rotinas de cálculo implementadas no software para o dimensionamento de um bueiro hidráulico admitem seu funcionamento como canal livre e regime uniforme. Baptista e Lara (2014) citam que para os cálculos hidráulicos em canais é necessário conhecer alguns parâmetros relacionados à seção transversal do canal. São eles: área molhada (Am), é a parte da seção transversal que é ocupada pelo líquido; perímetro molhado (Pm), corresponde ao comprimento relativo ao contato do líquido com o conduto; largura superficial (B), é a largura da superfície em contato com a atmosfera; profundidade (y), corresponde à altura do líquido acima do fundo do canal; profundidade hidráulica (Yh), é a razão entre a área molhada e a largura superficial (Equação 1); e raio hidráulico (Rh), é a razão entre a área molhada e o perímetro molhado (Equação 2).

$$Yh = Am/B \quad (1)$$
$$Rh = Am/Pm \quad (2)$$

Para os cálculos hidráulicos utilizados no dimensionamento de canais, sejam eles naturais ou artificiais, é muito utilizada a fórmula de Manning (BAPTISTA; LARA, 2014). As Equações (3) e (4) são, respectivamente, a equação de Manning e a equação da continuidade.

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \quad (3)$$
$$Q = A \cdot V \quad (4)$$

Onde: V é a velocidade de escoamento (m/s); n é o coeficiente de rugosidade de Manning ($m^{-1/3}$); Rh é o raio hidráulico (m); I é a declividade (m/m); Q é a vazão (m^3/s) e A é a área (m^2).

Isolando a velocidade na equação da continuidade e substituindo seu valor na equação de Manning, encontra-se a expressão mais comum da equação de Chézy-Manning, demonstrada pela Equação (5).

$$Q = \frac{Am}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \quad (5)$$

Azevedo Netto (2015) diz que a equação de Manning é muito utilizada devido aos experimentos realizados tanto em canais de dimensões pequenas quanto em canais de grandes dimensões, com resultados coerentes comparando-se o projeto com a obra construída.

No cálculo utilizando a equação de Manning, o coeficiente de rugosidade de Manning (n) corresponde a um fator de atrito que mensura a dificuldade do escoamento associada à parede do conduto (BAPTISTA; LARA, 2014). Segundo Ziemer (2003), a obtenção desse coeficiente é fácil, sendo que valores usuais podem ser encontrados em livros voltados ao estudo da hidráulica e em catálogos de fabricantes. Na Tabela 1 são apresentados alguns coeficientes de rugosidade retirados da obra Open-Channel Hydraulics (CHOW, 1959 apud BAPTISTA; LARA, 2014).

Tabela 1 – Coeficiente de rugosidade de Manning

Revestimento	Rugosidade		
	Mínima	Usual	Máxima
Concreto pré-moldado	0,011	0,013	0,015
Concreto com acabamento	0,013	0,015	0,018
Concreto sem acabamento	0,014	0,017	0,020
Concreto projetado	0,018	0,020	0,022
Gabiões	0,022	0,030	0,035
Espécies vegetais	0,025	0,035	0,070
Aço	0,010	0,012	0,014
Ferro fundido	0,011	0,014	0,016
Aço corrugado	0,019	0,022	0,028
Solo sem revestimento	0,016	0,023	0,028
Rocha sem revestimento	0,025	0,035	0,040

Fonte: Adaptado de Baptista e Lara (2014)

O funcionamento dos canais pode se desenvolver em regimes de escoamento subcrítico, crítico ou supercrítico. Tais regimes são definidos com base no número de Froude, que corresponde a uma grandeza adimensional que relaciona a velocidade do escoamento com a velocidade da onda de superfície (MIGUEZ, 2015). O número de Froude é descrito por meio da Equação (6), em que Fr corresponde ao número de Froude (adimensional), V é a velocidade média do escoamento (m/s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e Ym é a profundidade hidráulica (m).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,Yh}} \quad (6)$$

Segundo Miguez (2015), a caracterização do regime de escoamento admite três hipóteses com base no número de Froude, sendo elas: Fr=1 corresponde ao escoamento crítico, caracterizado por um escoamento instável e bastante turbulento; Fr<1 escoamento subcrítico, caracterizado por ser mais tranquilo com velocidade mais baixa e maior profundidade; e Fr>1 escoamento supercrítico, caracterizado por uma velocidade mais alta e menor profundidade.

Além dos cálculos hidráulicos, o software estabelece conexões com as diretrizes do DNIT (2015) relativas à dimensão, velocidade, recobrimento e materiais que devem ser adotados no dimensionamento de bueiros (vide Tabela 2).

Tabela 2 – Especificações para o dimensionamento de bueiros

Itens	Especificações
Dimensões Mínimas	Bueiro Tubular: 1,00 m de diâmetro Bueiro Celular: 2,00 m de altura e 1,50 m de largura
Altura de recobrimento	Bueiro Tubular: 1,00 m referente à cota do projeto de terraplanagem Bueiro Celular: 1,00 m referente à cota de terraplanagem. No entanto, aceita-se apoio na superestrutura direto na laje superior
Velocidade do escoamento	Mínima: 0,75 m/s Máxima: 4,50 m/s
Material do bueiro tubular	Até 1,20 m de diâmetro, recomenda-se a adoção de tubos de concreto armado. Acima desse valor, recomenda-se a utilização de tubos de aço corrugado ou a utilização de bueiro celular.

Fonte: Adaptado DNIT (2015)

Em relação à declividade do bueiro, o DNIT (2006) especifica que ela deve variar entre 0,4 e 5%. Outra recomendação é feita em relação ao nível de água, que apresenta um limite máximo e mínimo, sendo o máximo de 80% e o mínimo 20% da altura total do bueiro, conforme representado nas Figura 1 e Figura 2, respectivamente.

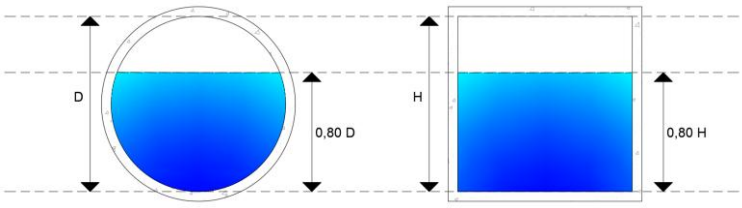


Figura 1: Limite superior do nível de água

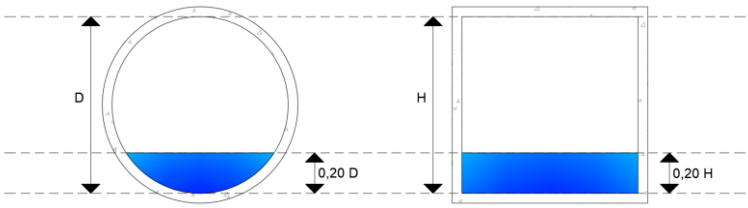


Figura 2: Limite inferior do nível de água

Resultados

A Figura 3 apresenta a janela inicial do *software*. Nela, o usuário deve escolher qual tipologia de bueiro deseja calcular: tubular ou celular. A escolha é feita por meio de um simples clique na imagem representativa do tipo de bueiro que se deseja dimensionar.

Para auxiliar o usuário, ao lado de cada botão há um breve texto com as principais características de cada um dos tipos de bueiros. Essas características referem-se basicamente ao material comumente empregado e às dimensões mínimas segundo o DNIT.

Por se tratar de um *software* educacional, a ferramenta permite que sejam calculados bueiros com dimensões inferiores às mínimas recomendadas pelo DNIT. No entanto, o usuário é avisado que a dimensão escolhida está abaixo da recomendação do DNIT e deve prosseguir por responsabilidade própria.

A diagramação das janelas de cálculo dos bueiros tubulares e celulares é bem similar entre si (Figura 4). Ambas apresentam as seguintes regiões: incógnita problema, dados de entrada, tipo de bueiro e resultados, além de uma região com a representação da seção longitudinal e transversal do bueiro calculado. Para auxiliar e alertar o usuário, o programa também dispõe de botões de ajuda e aviso, dispostos ao lado dos campos de entrada e saída mais importantes.

Ao acessar a janela de cálculo do bueiro, exibida na Figura 4, tanto tubular quanto celular, nem todas as regiões e componentes estão disponíveis para o usuário. A incógnita do problema aparece desmarcada, de forma que o usuário deve escolhê-la para prosseguir com os cálculos. O tipo de bueiro é definido como “simples” por padrão, porém o usuário pode escolher marcar a opção “duplo” ou “triplo”.

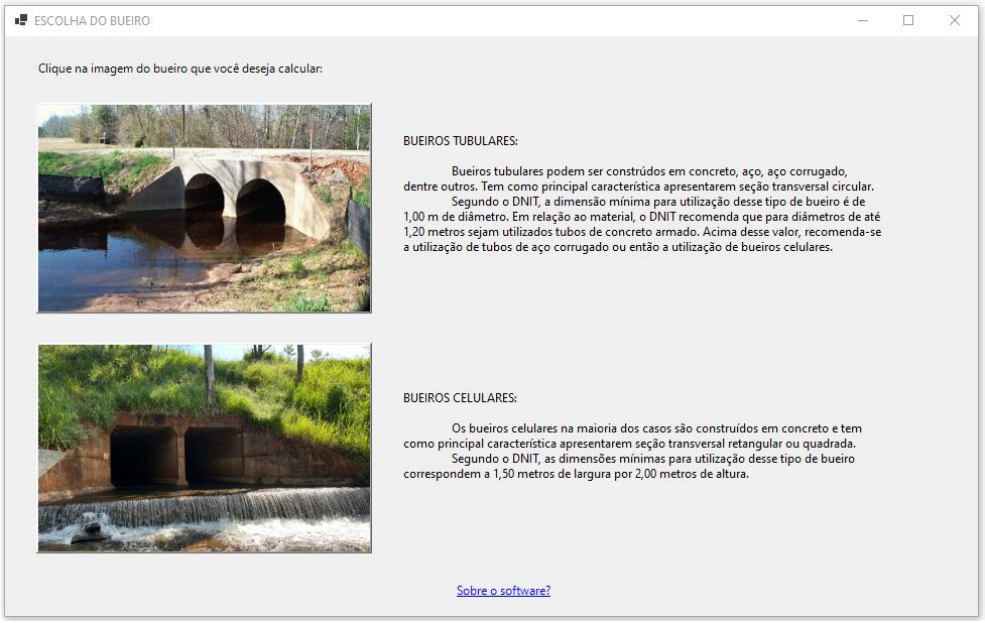


Figura 3: Tela Inicial

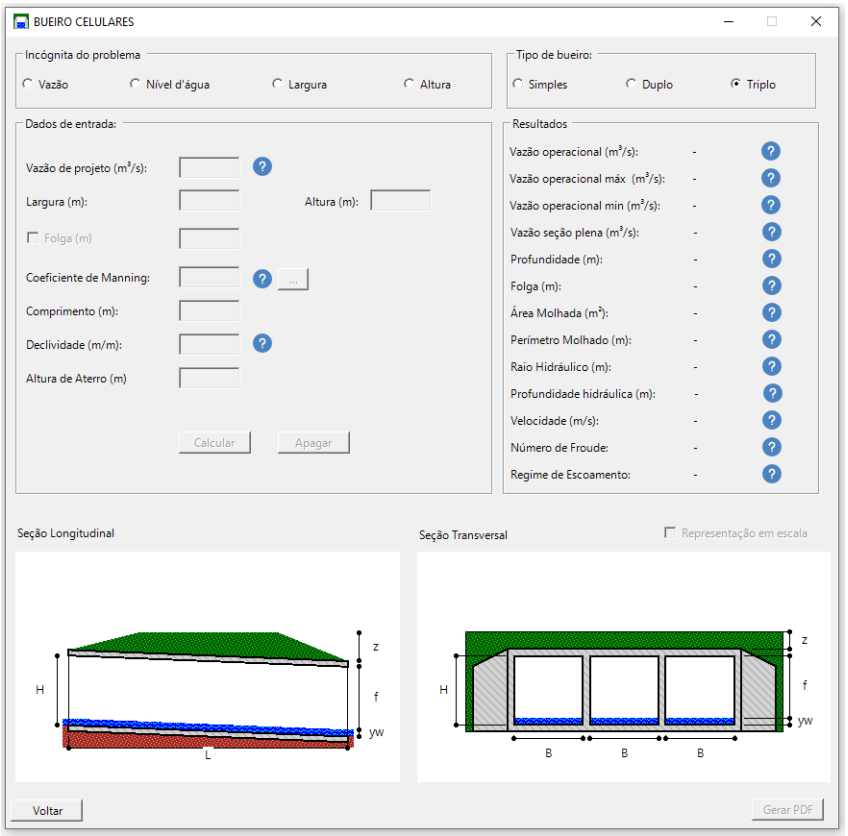


Figura 4: Janela de cálculo bueiros celulares

A região para entrada de dados inicialmente encontra-se desabilitada ao usuário. Isso ocorre, pois, dependendo da incógnita do problema, alguns parâmetros de entrada são necessários e outros não. De acordo com a incógnita escolhida, os campos necessários para o dimensionamento do bueiro são habilitados automaticamente.

No que diz respeito à região dos resultados, os parâmetros de saída iniciam sem valor algum, sendo atualizados após a realização de algum cálculo. Os desenhos da seção longitudinal e seção transversal inicializam com a representação de um bueiro de dimensões genéricas (representadas por variáveis algébricas), com as indicações das cotas dos parâmetros de entrada e também dos parâmetros calculados. Diferentemente da seção transversal, a seção longitudinal não sofre alteração de acordo com o tipo de bueiro escolhido pelo usuário. Conforme os dados de entrada são inseridos pelo usuário, os valores são substituídos em suas respectivas cotas no desenho.

Em relação aos botões de ajuda e de aviso, os primeiros ficam sempre visíveis e habilitados, de forma a auxiliar o usuário, enquanto os últimos só ficam visíveis quando algum dado de entrada ou resultado viola alguma recomendação do DNIT. As mensagens dos botões de ajuda alternam entre definições técnicas ou representações gráficas do campo em questão, conforme ilustrado pela Figura 5.

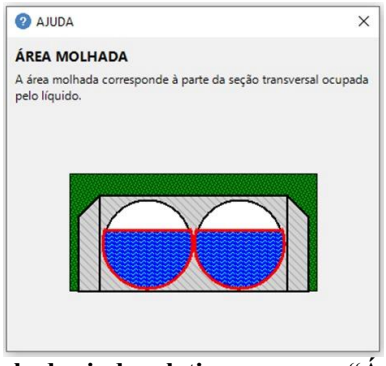


Figura 5: Janela de ajuda relativa ao campo "Área Molhada"

Os demais campos de inserção de dados também contam com ajuda ao usuário. No entanto, essa ajuda é gráfica, com base nas imagens de seção longitudinal e seção transversal do bueiro. Ao editar o campo "Altura", por exemplo, a variável aparece destacada em vermelho, tanto na seção transversal quanto na longitudinal, como exemplificado pela Figura 6.

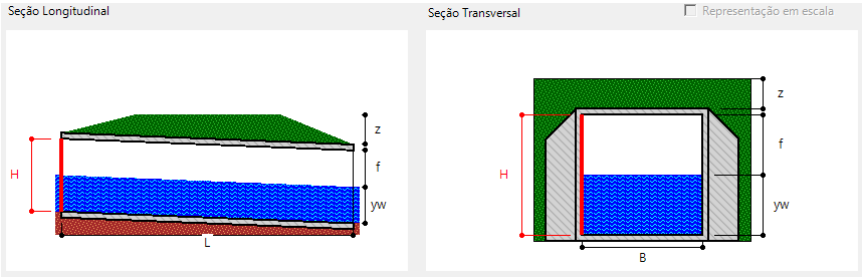


Figura 6: Ajuda gráfica sobre o campo "Altura" em bueiros celulares

Após inserir todos os dados de entrada, o usuário pode proceder com o dimensionamento do bueiro escolhido por meio do botão "Calcular". Feito isso, todos os valores calculados pelo programa são exibidos na área dos resultados e a representação gráfica do bueiro é atualizada com a altura da lâmina de água (yw). Adicionalmente é possível gerar um relatório em formato ".pdf", contendo os dados de entrada, dados de saída, representação gráfica e um memorial de cálculo completo.

Para a validação dos resultados obtidos e verificação da precisão da ferramenta desenvolvida, foram realizadas comparações com diferentes softwares comerciais e educacionais existentes, além de exemplos presentes na literatura (SANTOS, 2018). Foram realizados testes para ambos os tipos de bueiros (celulares e tubulares), para todos os tipos de incógnitas.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos em um dos casos de validação realizados. São exibidos os dados de saída de diferentes softwares comerciais e educacionais para o caso de um bueiro celular simples, cuja vazão buscou-se determinar. Os dados de entrada inseridos foram: 1,75 m de largura; 3,35 m de altura; 0,80 m de folga; coeficiente de Manning igual a 0,018; comprimento de 15 m; declividade de 0,004 m/m; e altura de aterro de 1,75.

Tabela 3 – Resultados obtidos para a incógnita vazão em bueiros celulares

Resultado	BFlow	CanalSoft	Canal	SisCCoH	MACRA Studio
Vazão operacional (m³/s)	11,783	11,78	11,78	11,7831	11,78
Vazão operacional máx (m³/s)	12,487	-	-	-	-
Vazão operacional min (m³/s)	2,159	-	-	-	-
Vazão seção plena (m³/s)	16,143	-	-	-	-
Profundidade (m)	2,550	2,55	2,55	2,55	2,55
Folga (m)	0,800	-	0,80	-	0,80
Área Molhada (m²)	4,463	4,46	4,4625	4,463	4,46
Perímetro Molhado (m)	6,850	6,85	6,850	-	6,85
Raio hidráulico (m)	0,651	0,65	-	-	0,65
Profundidade hidráulica (m)	2,550	2,55	-	-	-
Velocidade (m/s)	2,640	2,64	2,64	2,64	2,64
Número de Froude	0,528	0,53	0,528	0,528	0,53
Regime de escoamento	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	-	Subcrítico

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base na Tabela 3, observa-se que os resultados obtidos para a variável vazão são bastante semelhantes entre os diferentes softwares (BFlow, CanalSoft, Canal, SisCCoH e MACRA Studio). A variação entre os valores, no caso da vazão operacional (m^3/s), que varia entre 11,78 e 11,7831, pode ser atribuída a diferença no número de casas decimais exibidas por cada programa, ou seja, a diferença de valores são mínimas causadas por arredondamentos.

Um outro detalhe, alguns softwares não exibem determinadas variáveis na tabela, como por exemplo a vazão operacional máxima, profundidade hidráulica, o raio hidráulico e outros parâmetros. No entanto, a ausência desses dados não significa que os softwares não realizem os cálculos, mas sim que esses resultados específicos não são exibidos diretamente em suas saídas padrão ou relatórios.

Em relação aos parâmetros geométricos e hidráulicos, como profundidade, área molhada, perímetro molhado e folga, pode-se observar uma consistência entre os valores apresentados. A diferença, novamente, são irrisórias e relacionadas ao formato de apresentação dos dados. No caso da profundidade, por exemplo, aparece como 2,550 m em todos os softwares que a exibem, o que reforça a confiabilidade e uniformidade entre as ferramentas.

Por fim, todos os programas indicam que o regime de escoamento é subcrítico, evidenciado pelo número de Froude inferior a 1. Esse resultado é coerente com os valores de velocidade e profundidade observados, reforçando a precisão dos cálculos hidrodinâmicos realizados por cada software. Dessa forma, conclui-se que, apesar de pequenas variações nos valores apresentados, os softwares oferecem resultados compatíveis e tecnicamente válidos para análise de vazão em bueiros celulares.

Conclusão

O software BFlow apresenta-se como uma solução eficiente e didática para o dimensionamento de bueiros hidráulicos, atendendo às recomendações estabelecidas pelo DNIT e utilizando os fundamentos da hidráulica de canais livres. Com uma interface intuitiva, o programa permite ao usuário escolher entre diferentes tipos de bueiros (tubular ou celular; simples, duplo ou triplo), selecionar a incógnita a ser calculada e obter resultados precisos, validados por comparação com outros softwares consagrados e um estudo de caso real.

Além de realizar os cálculos hidráulicos com base na equação de Manning e demais relações geométricas e físicas pertinentes, o BFlow verifica automaticamente se os parâmetros inseridos e obtidos estão dentro das faixas recomendadas, fornecendo alertas e explicações ao usuário sempre que necessário. O relatório final gerado pelo programa é completo, incluindo dados de entrada, resultados, representações gráficas e memorial de cálculo, o que o torna uma ferramenta útil tanto para profissionais quanto para fins educacionais.

Dessa forma, conclui-se que o BFlow é um instrumento confiável, acessível e funcional para apoiar o dimensionamento de bueiros como canal livre, contribuindo para o aprendizado e a prática de engenharia de drenagem com base em normas técnicas e fundamentos científicos consolidados.

Referências Bibliográficas.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica.** 3.ed. Belo Horizonte, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR-724: Manual de drenagem de rodovias.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **ISF-210: Projeto de Drenagem**. Rio de Janeiro, 2015.

DOTTO, Fernando Marcuzzo. **Verificação do dimensionamento de dispositivos de drenagem na travessia urbana de Santa Maria.** Santa Maria, 2015.

GAIA, Marcos Narvaez. **Modelação Matemática de Bueiros.** São Paulo, 2014.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de rodovias: estudo hidrológico e projeto de drenagem.** Florianópolis,2020. Disponível em: https://www.abder.org.br/wp-content/uploads/2021/03/apostila_2020-1.pdf. Acesso em: 12 jun. 2022.

MIGUEZ, Marcelo Gomes**. Drenagem urbana – do projeto tradicional à sustentabilidade.** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595155695/. Acesso em: 22 abr. 2022.

NETTO, J.; FERNÁNDEZ,M**. Manual de hidráulica.** 9.ed. São Paulo, 2015. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208891/. Acesso em: 22 abr. 2022.

ROCHA, Diego Daibert. **Avaliação do projeto de drenagem de transposição de talvegues da rodovia municipal que interliga a rodovia MG-457 ao município de Passa Vinta/Minas Gerais.** Juiz de Fora, 2013.

SANTOS, Aislan Rander. **Bueiros de drenagem: análise da viabilidade de passagem de peixes.** Belo horizonte, 2017.

ZIEMER, Alisson Hofstatter. **Aplicativo computacional para dimensionamento de canais e estruturas hidráulicas.** Lavras, 2003.

PARQUE LINEAR COMO ESTRATÉGIA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

1Fabíola Santos Teixeira, 2Fábio Martins Ayres, 3Catiana Sabadin Zamarrenho

1Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, e-mail: fabiola.steixeira@gmail.com; 2Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, e-mail: fabioayres@uems.br; 3Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: catianasabadin@gmail.com

Palavras-chave: Parque Linear; Gestão Hídrica; Recuperação Ambiental.

Resumo

O crescimento desordenado das cidades brasileiras tem provocado sérios impactos sobre os recursos hídricos urbanos, especialmente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), que frequentemente são ocupadas irregularmente. Em Campo Grande (MS), a região urbana do Anhanduizinho apresenta significativo adensamento populacional e concentra parte expressiva dos assentamentos precários do município, muitos localizados às margens de córregos. Diante desse cenário, este trabalho propõe a implantação de um parque linear ao longo da APP do córrego Lageado como estratégia para recuperação ambiental, gestão das águas pluviais e criação de espaços públicos de convivência. A proposta baseia-se na análise de dados secundários e no uso de imagens de satélite, tanto para avaliar a evolução das ocupações irregulares na região quanto para comparar experiências de parques lineares já implementados em outras cidades brasileiras.

Keywords: Linear Park; Water Management; Environmental Restoration.

Abstract

The disordered growth of Brazilian cities has caused serious impacts on urban water resources, especially in Permanent Preservation Areas (APPs), which are often irregularly occupied. In Campo Grande (MS), the urban region of Anhanduizinho shows significant population growth and concentrates a large portion of the city's informal settlements, many located along urban streams. In this context, this paper proposes the implementation of a linear park along the APP of the Lageado stream as a strategy for environmental restoration, stormwater management, and the creation of public spaces for social interaction. The proposal is based on the analysis of secondary data and the use of satellite imagery to evaluate the evolution of irregular occupations in the region and to compare similar linear park experiences implemented in other Brazilian cities.

Introdução

O crescimento populacional exerce impactos diretos sobre a dinâmica urbana, exigindo o desenvolvimento de infraestrutura capaz de suprir as crescentes demandas por habitação, mobilidade, serviços e recursos naturais. Nas cidades brasileiras, esse processo tem sido marcado por uma urbanização acelerada e desordenada, frequentemente associada à ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, como as margens de cursos d'água, resultando em significativos desequilíbrios ambientais (BRITO; BARROS; SILVA, 2014).

A ocupação sem planejamento ao longo da história comprometeu, de forma crítica, os recursos hídricos urbanos. Córregos e áreas florestais, especialmente, vêm sendo degradados pela expansão urbana irregular, intensificada pela impermeabilização do solo, aumento do escoamento superficial e consequente intensificação de processos erosivos e enchentes (SANTANA, 2011; CARVALHO; ROCHA, 2020).

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), legalmente instituídas pelo código florestal instituído pelo Decreto nº 23.793 em 23 de janeiro de 1934, (Brasil, 1934) reformulado pela Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), visam proteger recursos hídricos, garantir a biodiversidade e assegurar o bem-estar da população. Entretanto, nas áreas urbanas, essas áreas são ocupadas irregularmente por populações que, em geral, não têm acesso ao mercado formal de moradia. A nova Lei nº 14.285/2021(Brasil, 2021) delega aos municípios a competência para definir os limites das APPs urbanas, o que reforça a importância do planejamento urbano ambiental como instrumento de gestão territorial.

Em Campo Grande (MS), o crescimento urbano segue as tendências nacionais. Segundo o (IBGE, 2022), entre 2010 e 2022, o município apresentou aumento populacional de 14,13%, sendo que as regiões urbanas do Bandeira e do Anhanduizinho lideraram esse crescimento. A ocupação irregular nas APPs do município é significativa: das 16 áreas classificadas como favelas, 8 estão localizadas na região do Anhanduizinho, que também concentra grande parte dos assentamentos precários não-consolidados, conforme dados do Diagnóstico Habitacional elaborado pela empresa Demacamp (Relatório, 2024).

Campo Grande abriga as nascentes da bacia do Prata, nos divisores de águas dos Rios Paraguai e Paraná, e, dentre os cursos d'água da cidade, destaca-se o córrego Lageado, principal componente da microbacia hidrográfica que leva seu nome e que integra a Bacia do Rio Paraná. Essa microbacia evidencia os impactos da urbanização desordenada sobre os recursos hídricos, conforme apontado por Capoane e Fushimi (2023), e representa um exemplo crítico da necessidade de ações integradas para mitigação dos danos ambientais e sociais.

Nesse cenário, a proposta de implantação de um parque linear ao longo do córrego Lageado surge como uma estratégia de recuperação ambiental aliada à promoção da convivência urbana, do lazer e da valorização do espaço público. Os parques lineares têm se consolidado como instrumentos multifuncionais no planejamento urbano e na gestão dos recursos hídricos,

contribuindo para a redução da vulnerabilidade socioambiental, a requalificação de áreas degradadas e o fortalecimento do sentimento de pertencimento das comunidades locais (OLIVEIRA; SOUSA, 2022).

Assim, este trabalho propõe o estudo de viabilidade de um parque linear na APP no córrego Lageado, articulando políticas públicas ambientais, habitacionais e urbanísticas em resposta aos desafios da urbanização contemporânea, a gentrificação e em busca da sustentabilidade territorial de Campo Grande.

Metodologia

Esta pesquisa possui caráter qualitativo, com abordagem aplicada e propositiva. A metodologia adotada combina revisão bibliográfica e documental sobre urbanização, drenagem urbana e implantação de parques lineares, com análise de dados secundários referentes à microbacia do córrego Lageado, obtidos por meio de fontes como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano - PLANURB e o diagnóstico habitacional elaborado pela empresa Demacamp.

A pesquisa contempla ainda a análise de legislações vigentes, como as Leis nº 12.651/2012 e 14.285/2021, que tratam da proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs) em contexto urbano.

Para embasar a proposta de intervenção, serão utilizadas imagens orbitais de diferentes períodos, com o objetivo de:

comparar o antes e o depois de parques lineares já implantados não só em Campo Grande, mas também em outras cidades brasileiras;

analisar a evolução temporal das ocupações irregulares ao longo das margens do córrego Lageado.

As imagens permitirão observar as transformações na paisagem, identificar áreas degradadas e avaliar o potencial de implantação do parque linear na região urbana do Anhanduizinho, em Campo Grande (MS). A proposta é fundamentada em experiências urbanas similares e visa integrar ações de recuperação ambiental, gestão hídrica e requalificação urbana por meio da criação de espaços públicos multifuncionais.

Resultados e Discussões

A análise dos dados referentes à microbacia hidrográfica do córrego Lageado, somada ao levantamento das imagens orbitais, evidencia o avanço da ocupação urbana sobre áreas ambientalmente sensíveis ao longo das últimas décadas. As APPs da região urbana do Anhanduizinho, em especial nas proximidades do córrego, têm sido sistematicamente ocupadas, resultando em degradação ambiental, assoreamento dos corpos d'água, aumento de enchentes e perda da vegetação nativa.

As imagens históricas permitiram observar a substituição de áreas verdes por ocupações irregulares, muitas delas localizadas em áreas de risco. Por outro lado, a análise comparativa com parques lineares implantados em Campo Grande, Parque Soter e Parque Imbirussu demonstram o potencial transformador dessa intervenção urbana, tanto na recuperação ambiental quanto na valorização do espaço público.

A proposta de implantação de um parque linear na APP do córrego Lageado visa responder a esse cenário de degradação com uma estratégia multifuncional, capaz de integrar ações de drenagem urbana, requalificação territorial e inclusão social. A criação de espaços públicos ao longo do córrego, aliados à remoção e reassentamento planejado das ocupações irregulares, pode gerar efeitos positivos na drenagem urbana, na qualidade de vida da população e na percepção ambiental do território.

Além disso, o parque linear pode cumprir papel fundamental como infraestrutura verde, conectando fragmentos de vegetação, promovendo o fluxo ecológico e contribuindo para o microclima urbano. Essa proposta dialoga com as diretrizes das políticas públicas de sustentabilidade urbana, e reforça a importância de um planejamento integrado que articule aspectos ambientais, urbanísticos e sociais.

Estudo de Caso Complementar: Parque Linear no Córrego Sóter

Para enriquecer a análise e fortalecer a proposta de intervenção no córrego Lageado, realizou-se o levantamento de imagens orbitais no Parque Linear do Córrego Sóter, Figura 01, localizado em Campo Grande (MS), antes e após a implantação do projeto. As imagens evidenciam a transformação da área, anteriormente caracterizada por ocupações irregulares, processos erosivos e ausência de infraestrutura urbana, em um espaço requalificado, com áreas verdes recuperadas, equipamentos de lazer e drenagem eficiente.



Figura 01 - Córrego Soter após a implantação do Parque Linear.

Conclusão

A ocupação desordenada das margens do córrego Lageado, inserido na microbacia hidrográfica do Anhanduizinho em Campo Grande (MS), reflete os desafios enfrentados pelas cidades brasileiras em conciliar crescimento urbano com a preservação ambiental. A proposta de implantação de um parque linear nesse contexto representa uma alternativa viável e estratégica para a recuperação de áreas degradadas, a mitigação de impactos hidrológicos e a promoção de espaços públicos de convivência e lazer.

A partir da análise de dados secundários e do uso de imagens orbitais, foi possível identificar tanto a evolução das ocupações irregulares quanto as oportunidades de requalificação ambiental na área de estudo. O comparativo com parques lineares já existentes em outras cidades brasileiras reforça o potencial transformador dessa intervenção como ferramenta de gestão hídrica, planejamento urbano e inclusão social.

Conclui-se, portanto, que a adoção de políticas públicas integradas, que articulem habitação, meio ambiente e mobilidade, é fundamental para a efetivação de projetos como o proposto. A implantação de parques lineares, quando alinhada à sustentabilidade e ao planejamento territorial, pode não apenas restaurar ecossistemas urbanos, mas também fortalecer o sentimento de pertencimento da população e promover cidades mais resilientes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

DEMACAMP – Consultoria, Planejamento e Desenvolvimento. Estudo de diagnóstico habitacional do município de Campo Grande – MS. Campinas: DEMACAMP, 2022. (Documento técnico contratado pela Prefeitura Municipal de Campo Grande).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2022: resultados preliminares por município. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2025.

PLANURB – Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano. Plano Diretor de Campo Grande: diagnóstico da região urbana do Anhanduizinho. Campo Grande: PLANURB, 2022.

BARBOSA, Luciana Alves. A geografia da expansão urbana de Campo Grande - MS (1980 a 2010): uma análise da urbanização e sua relação com os investimentos públicos. Campo Grande: UFMS, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Dispõe sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) em áreas urbanas consolidadas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2021.

BRITO, Janaina de Souza; BARROS, Andréa S. de Lima; SILVA, Carolina Figueiredo da. Impactos socioambientais da urbanização em áreas de preservação permanente: uma abordagem geográfica. Revista Geonorte, v. 5, n. 14, p. 164–176, 2014.

CAPOANE, Vanessa; FUSHIMI, Denise Ferreira. Análise da influência da urbanização nos recursos hídricos: o caso da sub-bacia do córrego Lageado em Campo Grande - MS. Revista GeoPantanal, v. 18, n. 1, p. 1–18, 2023.

CARVALHO, Cristiane Moreira de; ROCHA, Mônica Almeida. A gestão dos recursos hídricos e o uso do solo urbano. Revista Cidades, v. 17, n. 1, p. 45–60, 2020.

MATIAS, Sérgio Ricardo; NASCIMENTO, Raimundo José de Sousa. Ocupações irregulares e degradação ambiental em áreas de preservação permanente. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 8, n. 2, p. 95–109, 2006.

OLIVEIRA, Michelle Mendonça de Aguiar; SOUSA, Isaque dos Santos. Implantação de parques lineares como forma de mitigação no planejamento da gestão dos recursos hídricos na cidade de Manaus. In: Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis, 2022. Anais [...]. Manaus: UEA, 2022.

OLIVEIRA, Luiza Helena de; LIMA, Raquel Duarte. O uso e ocupação do solo e os impactos sobre os recursos hídricos. Revista Ambiente e Água, v. 12, n. 3, p. 410–421, 2017.

REZENDE, Maria Fernanda; ARAÚJO, Rodrigo Lopes. A gestão ambiental nas áreas de preservação permanente: desafios e perspectivas. Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 6, n. 1, p. 100–117, 2016.

SANTANA, Luiz Claudio Moreira. Expansão urbana e impactos ambientais: o caso das áreas de APP no Brasil. Revista Sustentabilidade em Debate, v. 2, n. 1, p. 70–86, 2011.

SOARES, Thays Camargo; LOPES, Patrícia Ferraz. A reabilitação ambiental em áreas urbanas degradadas: diretrizes para políticas públicas. Revista Urbanidades, v. 8, n. 2, p. 1–12, 2016.

TRAVASSOS, Luciana; SCHULT, Lúcia. Políticas urbanas e reabilitação socioambiental em fundos de vale: desafios e perspectivas. Cadernos Metrópole, v. 15, n. 30, p. 297–316, 2013.

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM CONDENSADORES EVAPORATIVOS DE UMA INDÚSTRIA FRIGORÍFICA DE PRESIDENTE LUCENA – RS: ESTUDO DE CASO

1Nicole Vogel, 2Bethania Brochier
1Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e-mail: nicolevogel777@gmail.com;
2Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e-mail: bethaniab@unisinos.br

Palavras-chave: aproveitamento de água da chuva; condensadores evaporativos; sustentabilidade.

Resumo

Frente ao contexto de escassez de água global, ao alto consumo de água em indústrias frigoríficas e ao elevado custo atrelado à captação e tratamento de água, é primordial a pesquisa por alternativas sustentáveis de abastecimento hídrico. Neste sentido, esse estudo visou verificar a possibilidade de aproveitamento de água da chuva em condensadores evaporativos de uma indústria frigorífica. Para tal, foram consideradas as características físico-químicas e microbiológicas da água da chuva, através de amostragens realizadas em um sistema piloto de captação de água pluvial e os resultados foram comparados com as especificações técnicas dos equipamentos, legislações vigentes e com a água subterrânea abrandada, fonte de água atual da indústria. Verificou-se que a água pluvial atende as especificações técnicas e legislações vigentes, sendo necessária apenas a realização de um tratamento microbiológico e que o descarte do primeiro milímetro de precipitação melhora significativamente as propriedades da água. Além disso, com a utilização da água da chuva é possível reduzir a purga no sistema e reduzir a dosagem de químicos no tratamento da água de recirculação. O estudo também demonstrou que a dureza da água pluvial é significativamente inferior à da água subterrânea bruta, eliminando a necessidade do processo de abrandamento. Como resultado, o aproveitamento da água da chuva surge como uma alternativa sustentável que pode contribuir para a preservação dos recursos hídricos, reduzir custos operacionais e fortalecer a resiliência hídrica do setor frigorífico.

Introdução

A escassez hídrica já é notada em diversas regiões do mundo e está atrelada ao mau gerenciamento deste recurso, ao aumento populacional e à poluição lançada nos corpos hídricos. No ano de 2021, o Brasil vivenciou a maior crise hídrica em 91 anos, enfrentando a falta de água, o seu racionamento e a possibilidade de apagão de energia elétrica (CORREA, 2021). Portanto, o desenvolvimento sustentável é fundamental e é alcançado com a pesquisa por novas alternativas de abastecimento hídrico. As indústrias também são afetadas pela escassez de água. Em indústrias frigoríficas, o consumo de água é elevado, uma vez que está associado aos padrões sanitários de higiene e, além disso, nesse ramo industrial, é essencial o uso do frio para que se garanta a qualidade do produto final e a conformidade com a legislação.

O ciclo de refrigeração consiste em submeter um líquido refrigerante a uma compressão, em seguida a condensação, expansão e evaporação, retornando à sua condição inicial (PIN, 2021), sendo a etapa de condensação a que consome um volume considerável de água que não tem contato com o fluido refrigerante, podendo ser utilizada água não potável. Há diferentes tipos de condensadores aplicados na refrigeração industrial, sendo o predominante o tipo evaporativo. Nesse tipo de condensador, o calor rejeitado pelo refrigerante é transferido continuamente à água e ao ar ambiente. O fluido refrigerante escoa por tubos e é pulverizada água sobre essas tubulações, promovendo a troca térmica e condensando o fluido refrigerante. Além disso, conforme Pin (2021, p. 31),

> Concomitantemente, uma parcela de água é evaporada e em um mecanismo combinado de transferência de calor e massa entre água e o ar, esta também é resfriada. Quando a água alcança a bacia do condensador, entra novamente no ciclo por meio de uma bomba que mantém a quantidade de água utilizando um controle de nível que está acoplado na tubulação de reposição.

Devido às perdas de água pelo arraste e evaporação, insere-se uma corrente de reposição para compensação. Além disso, adicionam-se químicos para evitar a proliferação de microrganismos e prevenir a corrosão e incrustação do equipamento (PIN, 2021).

Neste contexto, avaliou-se a viabilidade de utilização de água da chuva para o sistema de condensação de fluido refrigerante, uma vez que esse recurso apresenta boa qualidade físico-química. Andrade Neto (2013) explicou que “a água das nuvens é, naturalmente, evaporada das águas superficiais de lagos, rios e mares, deixando os sais, as partículas e os microrganismos”. Dessa forma, quando a água da chuva é precipitada das nuvens, geralmente, tem-se uma boa qualidade do recurso, podendo ter uma ampla aplicabilidade (NETO, 2013).

Materiais e métodos

O estudo de caso foi realizado na empresa Granja Pinheiros, uma indústria frigorífica localizada no município de Presidente Lucena – RS. Para tanto, construiu-se um sistema piloto de captação de água da chuva (demonstrado na Figura 1) e

foram avaliados: a) os 10 mm iniciais de precipitação; b) a água de descarte, correspondente ao primeiro milímetro de precipitação; c) a água de armazenamento, correspondente ao restante da precipitação; d) a água subterrânea abrandada, atual recurso hídrico utilizado pela empresa; e) a água subterrânea bruta.

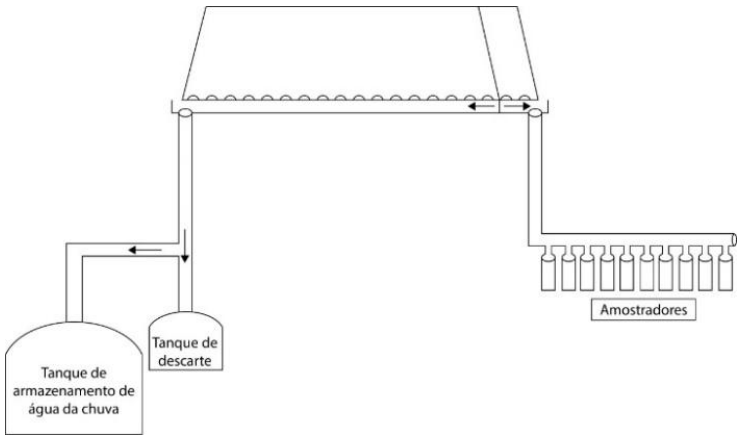


Figura 1 - Projeto sistema piloto de captação de água da chuva
Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

O sistema de captação da água pluvial consistiu na divisão de um telhado isolado com captação dos 10 mm iniciais de precipitação à direita; para a esquerda, coletou-se 1 mm de água da chuva (descarte) e armazenou-se o restante (Figura 1).

Para dimensionar o tanque de descarte, foi estimado o volume de coleta de água da chuva correspondente ao primeiro milímetro de chuva coletado no telhado. O tanque de descarte foi dimensionado conforme cálculo fornecido pela ABNT NBR 15527:2019, a qual está descrita abaixo:

$$V = P\ x\ A\ x\ C \quad (1)$$

Onde:
V é o volume do tanque de descarte em m^3;
P é a precipitação de 1 milímetro (0,001 m);
A é a área de coleta;
C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura (*runoff*), estimado em 0,85 para telhados, de acordo com os valores recomendados pela ASCE (*American Society of Civil Engineers*).

Para o tanque de descarte foi utilizada uma bombona plástica e para o tanque de armazenamento do restante da precipitação, foi instalada uma caixa de 2.000 L, conforme Fotografia 1 (a).

O sistema dos armazenadores (Fotografia 1(b)) consiste no enchimento do primeiro tubo até o seu total preenchimento e, então, a água segue para o próximo até que se tenha coletado os 10 primeiros milímetros de precipitação. Após o preenchimento dos armazenadores, a água que entrar no amostrador é descartada pelo extravasor. Além disso, na parte interna superior de cada amostrador, foi adicionada uma redução de diâmetro e bola de borracha (Fotografia 1 (c)), para que ocorresse a vedação do tubo após o seu enchimento.



Fotografia 1 – (a) Tanque de descarte de 1 mm (I) e tanque de armazenamento (II); (b) Amostradores dos 10 mm iniciais de precipitação e (c) válvula de retenção dos amostradores
Fonte: Registrada pelas autoras (2023)

Visando avaliar a água da chuva para uso em condensadores evaporativos, analisou-se pH, alcalinidade total, dureza total, cloretos, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* na caixa de descarte, caixa de armazenamento, poço abrandado e poço bruto. E, também, analisou-se a condutividade elétrica dos armazenadores de cada milímetro de chuva. Cada parâmetro é importante para a conservação dos condensadores evaporativos, pois se relaciona ao

potencial da água em causar corrosão, incrustação e proliferação de microrganismos. As coletas foram realizadas em três diferentes eventos de chuva no período de janeiro à abril de 2023 e as análises foram feitas em triplicata na Unisinos *campus* São Leopoldo, RS e na Granja Pinheiros.

Resultados e discussões

A condutividade elétrica possui uma relação direta com o teor de sais dissolvidos, dureza e cloretos, fornecendo informações relevantes para avaliação da qualidade do recurso hídrico. O teor dos 10 milímetros iniciais de chuva está representado no Gráfico 1, mostrando maior valor no primeiro milímetro de chuva, com posterior redução em torno de 50%. Esse comportamento é justificável, pois a primeira água precipitada realiza a lavagem da atmosfera e do telhado.

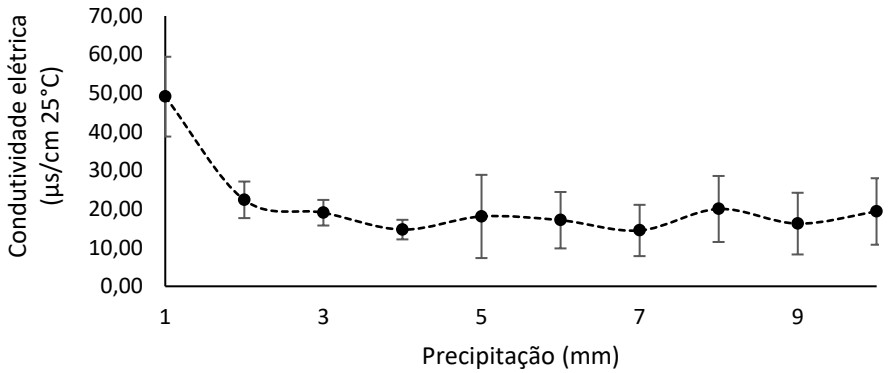


Gráfico 1 - Resultados médios de condutividade elétrica ao longo dos 10 mm de chuva
Fonte: Elaborada pelas autoras (2023)

Além das análises mostradas ao longo dos 10 primeiros milímetros de chuva, também foi avaliada a qualidade da água do poço bruto, água do poço abrandada, água da chuva de descarte (correspondente ao primeiro milímetro de chuva) e de água da chuva de armazenamento (correspondente ao restante da precipitação). Nessa avaliação, foi verificado a dureza, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. Foram realizadas 3 coletas de água da chuva, e as análises foram feitas em triplicata. Os resultados obtidos estão representados no Gráfico 2, a partir dos quais foi possível determinar se a qualidade da água de poço e da água da chuva são diferentes significativamente através de análise pelo teste de Tukey realizado com nível de confiança de 95% no software IBM SPSS Statistics.

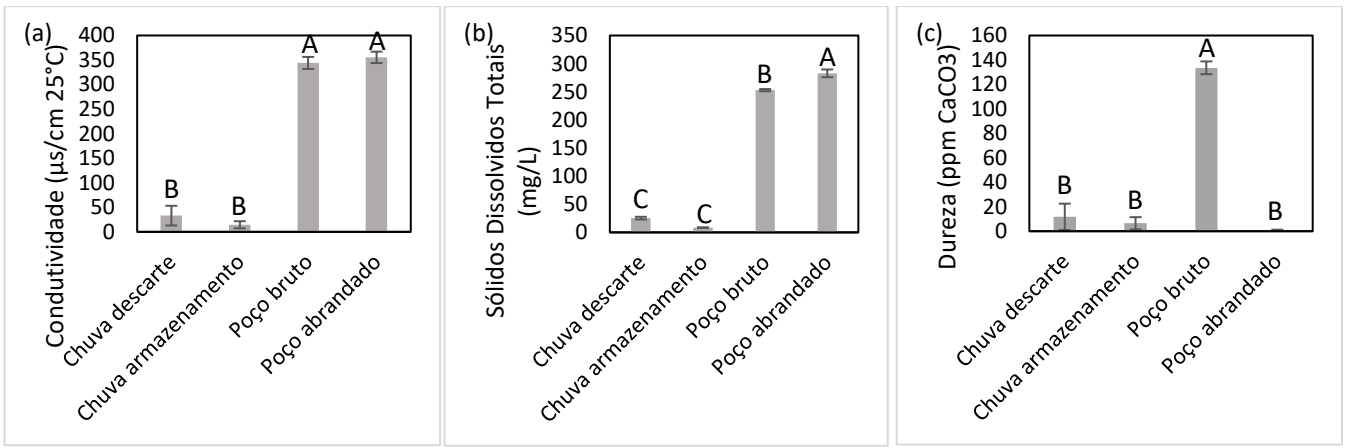


Gráfico 2 - Resultados de (a) condutividade elétrica e (b) sólidos dissolvidos totais e (c) dureza da água pluvial x água subterrânea
Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).
[A] Letras diferentes indicam que há diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

O parâmetro de condutividade elétrica, Gráfico 2 (a), resultou em uma média de 32,97 ± 20,04 µs/cm 25°C na água da chuva de descarte e 14,4 ± 17,19 µs/cm 25°C para água de armazenamento, não diferentes entre si ($p > 0,05$). Esse resultado indica a presença substâncias dissolvidas que se dissociam em íons e conduzem corrente elétrica. É importante destacar que existe uma correlação entre a condutividade elétrica e a concentração de sólidos dissolvidos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006), e isso pode ser observado no Gráfico 2 (b), onde a água da chuva de descarte resultou em maior teor de SDT em relação à água da chuva de armazenamento, com média de 29,97 ± 6,88 mg/L e 9,03 ± 0,87 mg/L, respectivamente. Já a água do poço bruto e

poço abrandada resultou em uma condutividade elétrica aproximadamente de 10 vezes maior que a água da chuva de descarte e em torno de 25 vezes maior que a água de armazenamento. Em relação à condutividade elétrica, os pontos de coleta (poço bruto e poço abrandado) são estatisticamente iguais entre si e diferentes dos pontos de água da chuva. Essa elevada condutividade elétrica está associada à origem da água (poço artesiano), a qual tem influência da composição mineralógica das rochas, tendo maior concentração de íons dissolvidos em comparação à água da chuva.

Em relação ao parâmetro de dureza, obteve-se um resultado médio de 11,8 ± 10,8 ppm $CaCO_3$ para a chuva de descarte Já a água da chuva de armazenamento, resultou em uma média de 6,4 ± 5,0 ppm $CaCO_3$. Estatisticamente, os resultados de dureza de ambas as amostras de água da chuva são iguais ao resultado da água de poço abrandada (0,5 ± 0,7 ppm $CaCO_3$), sendo classificadas como água mole ou branda (dureza < 50 ppm), de acordo com o Ministério da Saúde (2006). Verifica-se também que o poço bruto possui a dureza mais elevada em relação aos demais pontos, com uma média de 133,6 ± 5,2 ppm CaCO3, e é caracterizado como água moderadamente dura, porém após o abrandamento passa a ser classificada como água branda (com resultados de dureza zero ou próximos de zero), evidenciando que o processo de abrandamento realizado é eficaz.

Por fim, os resultados da água subterrânea abrandada, água da chuva de descarte e água da chuva de armazenamento foram comparados com a especificação técnica dos equipamentos e como referência microbiológica foi utilizada a portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, relativa ao padrão de potabilidade da água, e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação dos resultados obtidos com a especificação

Parâmetros	Subterrânea abrandada	Chuva descarte	Chuva armazenam.	*Especificação técnica
pH	✖ 8,28 ± 0,05	7,18 ± 0,55	7,48 ± 0,36	6,00 – 8,00
Alcalinidade total (mg/L)	✖ 242 ± 3	20 ± 10	14 ± 5	< 100
Dureza total (mg/L)	0,5 ± 0,7	11,77 ± 10,76	6,43 ± 5,04	< 20
Cloretos (mg/L)	5,86 ± 1,65	0	0	< 50
SDT (mg/L)	✖ 275 ± 12	30 ± 7	9,03 ± 0,87	< 200
Condutividade elétrica (µS/cm)	355 ± 12	33 ± 20	14,4 ± 7,19	< 400
Turbidez (uT)	0,06 ± 0,06	4,9 ± 0,6	1,97 ± 0,63	< 5*
E. coli (NMP/100mL)	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência**
Coliformes totais (NMP/100mL)	Ausência	✖ > 8,0 *x* 101	✖ > 8,0 *x* 101	Ausência**

Fonte: elaborada pela autora, *especificação técnica do equipamento (2023) e **Ministério da saúde (2021)
Legend: ✖ não atende; atenção, próximo do limite; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais

Pode-se verificar que a água da chuva atende as especificações físico-químicas para água de alimentação de condensadores evaporativos, enquanto a água subterrânea abrandada, apresenta alguns parâmetros fora do padrão. Ademais, a água de armazenamento mostrou-se com uma qualidade superior à água de descarte, tornando justificável o descarte do primeiro milímetro. Em relação aos resultados microbiológicos obtidos, verifica-se a necessidade de desinfecção da água pluvial e reservatórios.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, foi possível concluir que:

I) é tecnicamente viável a utilização de água da chuva para aproveitamento em condensadores evaporativos, sendo necessário apenas o seu tratamento microbiológico;

II) a utilização de água pluvial, em comparação à água subterrânea abrandada, apresenta vantagens em relação à condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais, tornando possível a redução da purga no sistema e da dosagem de químicos no tratamento da água de recirculação;

III) o descarte do primeiro milímetro de precipitação, melhora significativamente a qualidade da água armazenada, principalmente em relação à turbidez, aos sólidos dissolvidos totais e à condutividade elétrica;

IV) os resultados de dureza total da água pluvial mostram que não é necessário o abrandamento da água;

V) a possibilidade da utilização de água pluvial na indústria, reduz a dependência de fontes de água convencionais, como água subterrânea, evitando o esgotamento desse recurso.

Para trabalhos futuros, sugere-se a avaliação da influência de cinza de caldeira na água da chuva; a avaliação da cloração e periodicidade de higienização do sistema de captação e armazenamento necessários; além da realização de mais coletas de chuvas em períodos do ano diferentes, com a coleta de amostra de referência, coletada diretamente em um recipiente, com o objetivo de avaliar a influência do sistema de captação.

Agradecimentos

As autoras agradecem a empresa Granja Pinheiros e a Universidade do Vale do Rio dos Sinos pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527:2019. **Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

CORREA, Suzana. **Faltas de chuvas leva cidades de ao menos cinco estados a decretarem racionamento de água**. O Globo economia. São Paulo, 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 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. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, p. 127, 2021.

NETO, Cícero Onofre de Andrade. **Aproveitamento Imediato da Água da Chuva**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). Rio Grande do Norte, 2013.

PIN, Clarissa Ferreira. **Análise termodinâmica de um condensador evaporativo para melhoria da eficiência de um sistema de refrigeração**. Bagé, 2021.

A REVISÃO DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO E SUA INTEGRAÇÃO COM O PLANO DE BACIA DO TURVO GRANDE

1Alexandre Batista do Carmo, 2Denise Gallo Pizella

1 Faculdade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, e-mail: alexandre.carmo@unesp.br; 2 Docente da Faculdade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Biologia e Zootecnia e do Programa de Pós-Graduação em Biociências (Assis), e-mail: denise.gallo@unesp.br

Palavras-chave: gestão hídrica municipal; planejamento ambiental; bacia hidrográfica.

Resumo

Os Planos Diretores Municipais devem integrar as diretrizes presentes nos Planos de Recursos Hídricos, identificando instrumentos de controle e fiscalização, por meio dos quais os cidadãos e a administração pública possam fiscalizar e garantir seu efetivo cumprimento. O objetivo deste trabalho foi averiguar a relação entre esses instrumentos de planejamento ambiental, tendo como estudo de caso o Plano Diretor Municipal de São José do Rio Preto, SP, situado na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo e Grande (UGRH 15). Para tanto, foi realizada uma análise do histórico da revisão do Plano Diretor Municipal, buscando identificar as possíveis contribuições das informações presentes no Plano de Bacias para a elaboração do diagnóstico e prognóstico do Plano Diretor Municipal. Realizou-se a análise das sinergias existentes em ambos os Planos, em termos de diagnóstico e proposições, nos critérios afeitos aos recursos hídricos, como qualidade e quantidade hídricas, resíduos sólidos, proteção e revegetação de Áreas de Preservação Permanentes, recuperação e prevenção de erosões urbanas e rurais, zoneamento ambiental e outros. Os resultados demonstraram que, para a maioria dos critérios selecionados, houve sinergia parcial ou total entre os Planos, que foram coincidentes, devido à falta de articulação formal. Conclui-se que, por meio da análise do Plano de Bacia do Turvo Grande e do Plano Diretor de São José do Rio Preto, a gestão integrada não ocorreu de forma sistemática. Além disso, não há mecanismos formais de articulação entre sistemas de planejamento no país, como a Avaliação Ambiental Estratégica.

Introdução

O Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001), ao definir as diretrizes gerais para a política urbana brasileira (Brasil, 2001), aborda sobre a ordenação das cidades e a função social do solo urbano. De acordo com esta lei, a propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no Plano Diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas (Brasil, 2001; Menzori, Souza e Gonçalves, 2021).

O Plano Diretor Municipal deve ser aprovado pelas Câmaras Municipais, sendo obrigatório para as cidades com mais de vinte mil habitantes, constituindo-se no primeiro instrumento da política de desenvolvimento urbano (Brasil, 2001, art.41, inciso I)".

Maricato (2000) defende que, para que se tenha um Plano Diretor sustentável, sua elaboração precisa ser norteada pelo princípio da equidade, pois as discussões dos problemas do município devem ser fruto do embate político entre os vários atores sociais. Sendo assim, a cidade deixará de ser uma simples mercadoria e os recursos naturais existentes passarão a ser efetivamente vistos como finitos. Portanto, segundo Santin e Corte (2012), a participação da sociedade é fundamental na elaboração e para a aplicabilidade do Plano Diretor.

O planejamento urbano deve garantir a função social da cidade e, para tanto, necessita de participação em sua elaboração, tendo em vista que é a população e autoridades locais que conhecem os problemas sociais, econômicos e ambientais locais, podendo identificá-los e resolvê-los com mais facilidade, em detrimento das demais unidades da Federação (Oliveira & Pereira, 2015).

A partir de um diagnóstico científico da realidade física, social, econômica, política e administrativa da cidade, do município e de sua região, o Plano Diretor Municipal apresentaria um conjunto de propostas para o futuro desenvolvimento socioeconômico e organização espacial dos usos do solo urbano, das redes de infraestrutura e de elementos fundamentais da estrutura urbana, a curto, médio e longo prazos, aprovadas por lei municipal (Villaça, 1999).

Os Planos de Bacias hidrográficas, por sua vez, elaborados e implementados sob responsabilidade dos Comitês e Agências de Bacias, definem as estratégias para a gestão hídrica em âmbito regional, de modo a preservar, conservar e promover melhorias na qualidade e quantidade hídricas, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997). Desse modo, os Planos Diretores municipais e os Planos de bacias hidrográficas têm um importante papel na busca pela segurança e qualidade dos recursos hídricos de uma região (Dyckman, 2018).

Em termos legais, o artigo 31 da Lei nº 9.433/1997 informa que, na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, os municípios devem promover a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos (Brasil, 1997).

Segundo Pizella (2015), os Planos Diretores Municipais devem integrar as diretrizes presentes nos Planos de Recursos Hídricos, identificando instrumentos de controle e fiscalização, por meio dos quais os cidadãos e a administração pública possam

participar de sua elaboração e garantir seu efetivo cumprimento. A autora ressalta que os Comitês de Bacia Hidrográfica precisam considerar o planejamento de uso do solo em âmbito municipal e suas influências sobre os recursos hídricos na bacia hidrográfica como um todo.

São poucos os mecanismos que possibilitam implementar de fato uma política integrada entre municípios e as bacias hidrográficas em que se inserem, aumentando assim a necessidade de inovar no sentido de criar novos instrumentos e estratégias locais de planejamento e gestão que sustentem a formulação e a articulação de políticas urbanas e regionais (Rocco, Royer e Gonçalves, 2019). Os Planos Diretores Municipais necessitam de maior articulação com os Planos de Bacia Hidrográfica, posto que haveria maiores possibilidades de se definir as aptidões e vulnerabilidades aos usos do solo em uma bacia hidrográfica, e, consequentemente, um direcionamento da gestão territorial.

Apesar das dificuldades de gestão de unidades territoriais com escalas diferentes, Peres e Silva (2013) e Justi e Rauen (2018) pontuam que, no momento de se elaborar o Plano Diretor, a bacia hidrográfica seja considerada e, do mesmo modo, na revisão dos Planos de Bacia, existam ações direcionadas aos municípios. Para os autores, as diretrizes de parcelamento e de usos do solo municipais devem incorporar as variáveis ambientais do planejamento das águas e de demais fatores ambientais. No Estatuto da Cidade, inclusive, apresenta-se a necessidade de compatibilidade entre tais planejamentos multiescalares, a saber: "O conteúdo do plano diretor deverá ser compatível com as disposições insertas nos planos de recursos hídricos, formulados consoante a Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997" (Brasil, 2001, art. 42-A, parágrafo 2).

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi averiguar se, no processo de revisão e na Lei que instituiu o Plano Diretor Municipal de São José do Rio Preto, município de médio porte localizado no estado de São Paulo, há critérios ambientais a respeito da preservação e conservação hídricas que convergissem com o Plano de Bacia Hidrográfica do Turvo Grande (UGRH 15), em que o município se encontra.

Materiais e Métodos

Foi realizada a análise de conteúdo do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Grande (cuja revisão se deu no ano de 2015) e do Plano Diretor Municipal de São José do Rio Preto (revisto em 2021), buscando-se identificar as possíveis sinergias entre ambos nos seguintes critérios abordados, segundo Pizella (2019):

Zoneamento municipal, tendo em vista que a organização do território considera aspectos ambientais de preservação e conservação dos recursos hídricos ao contemplar, a título de exemplo, zonas de ocupação do solo com coeficientes de permeabilidade distintas;

Usos preponderantes e pretendidos das águas, posto que ambos os Planos definem os usos da água que serão sujeitos à outorga e a gestão hídrica municipal impacta diretamente a bacia hidrográfica em que se encontra;

Quantidade e qualidade hídricas (superficial e subterrâneas), devido às razões anteriormente abordadas;

Coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos e rurais, tema presente em Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia, que afetam a qualidade do solo e das águas. A gestão municipal necessita adotar ações preventivas, como a coleta permanente dos resíduos, sua separação na coleta seletiva e instalação de aterro sanitário para a destinação final;

Drenagem Urbana, visto que os sistemas de drenagem na área urbana afetam a qualidade das águas na bacia hidrográfica;

Erosões rurais e urbanas, posto que a ocorrência de processos erosivos nos municípios impacta a qualidade e quantidade das águas superficiais;

Arborização Urbana, já que áreas vegetadas auxiliam na absorção hídrica no solo e são, portanto, fundamentais para a manutenção da qualidade e quantidade hídricas na bacia;

Áreas especialmente protegidas (Áreas de Preservação Permanente, Reservas Legais, Terras Indígenas e Quilombolas e Unidades de Conservação) que, além de manterem a qualidade ambiental no município, tem como objetivos a proteção dos recursos hídricos;

Perdas hídricas no sistema de abastecimento do município, que necessitam de intervenção nos municípios para a conservação da quantidade hídrica nas bacias;

Ações de Educação Ambiental, como mecanismo de conscientização da população para a manutenção da qualidade ambiental no município, como dos recursos hídricos.

Para a identificação das sinergias existentes entre os Planos em questão nos critérios propostos, foram observadas as Atas de elaboração das ações diagnósticas e prognósticas que ocorreram durante a revisão do Plano Diretor Municipal, assim como foram analisados os diagnósticos e prognósticos presentes no Plano de Recursos Hídricos a respeito dos critérios anteriormente delimitados.

Após análise do conteúdo, houve a classificação dos critérios, da seguinte forma: **sinergia** entre os planos, nas situações em que houvesse convergência entre ambos; sinergia **parcial** entre os planos, nos casos em que não houvesse total convergência de objetivos nos critérios em análise; e **ausência** de sinergia, nas situações em que os objetivos dos critérios divergissem.

As Atas das audiências públicas foram encontradas, assim como o Plano Diretor revisto, no sítio eletrônico do município de São José do Rio Preto. O Plano de Bacia se encontra no sítio eletrônico do sistema de informações sobre recursos hídricos do estado de São Paulo.

As análises foram trianguladas com a literatura a respeito do tema.

Resultados e Discussão

A revisão do Plano Diretor de São José do Rio Preto teve início no ano de 2018, com dois anos de atraso, pois a Lei Complementar nº 224/2006, que dispunha sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de São José do Rio Preto, foi sancionada em 2006. Desse modo, sua revisão deveria ocorrer em 2016, conforme prevê o Estatuto das Cidades. A elaboração do Plano Diretor de São José do Rio Preto foi realizada pela Prefeitura Municipal, sendo coordenada pela Secretaria Municipal de Planejamento Estratégico, Ciência, Tecnologia e Inovação (Prefeitura de São José do Rio Preto, 2021).

Sinergias e conflitos entre o plano diretor municipal e o plano de bacia hidrográfica

Zoneamento municipal

Tendo em vista que o Plano Diretor foi elaborado posteriormente ao Plano de Bacia, algumas similaridades deveriam se fazer presentes naquele em termos de diagnósticos e propostas.

De acordo com a Lei de Zoneamento Municipal, o solo urbano foi dividido em 14 Zonas, com taxas de permeabilidade distintas, não havendo critérios científicos em sua delimitação.

Para o ordenamento do território, foram definidas as seguintes zonas: I – Macrozona de Proteção e Controle Ambiental; II – Macrozona Urbana de Consolidação; III – Macrozona de Expansão Urbana; IV – Macrozona de Restrição à Ocupação; e V – Macrozona de Ocupação Controlada.

Em termos de proteção e conservação hídrica, coube destaque às Macrozonas de Proteção e Controle ambiental e de Ocupação Controlada, que apresentaram os seguintes objetivos:

A Macrozona de Proteção e Controle Ambiental tem por objetivos “proteger os mananciais de abastecimento, bem como propiciar a retenção e infiltração das águas pluviais, controlando a ocupação urbana de áreas ambientais ou distantes da infraestrutura instalada, de forma a regular a expansão horizontal da cidade e incentivar o turismo sustentável” (Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto, 2021, art. 10, §1º).

A Macrozona de Ocupação Controlada compreende a área da bacia do córrego Moraes e no entorno da Floresta Estadual do Noroeste Paulista. A Macrozona de Ocupação Controlada tem como objetivo orientar o crescimento da região, no sentido de: I – Propiciar uma alta taxa de permeabilidade do solo, baixa taxa de ocupação e incentivar o índice de ocupação (Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto, 2021, art. 16).

Houve o estabelecimento das Áreas de Preservação Municipal (APM) e Áreas de Preservação Permanente, cuja extensão das faixas marginais ao longo dos rios foi definida como maior do que a fixada pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (ou novo Código Florestal Federal de 2012). Também foram apresentadas diretrizes para a constituição de Sistemas de Áreas Verdes e Unidades de Conservação municipais, incluindo os Parques Lineares e os Corredores Ecológicos (Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto, 2021).

As áreas rurais foram abordadas indicando-se a elaboração do Plano Municipal de Desenvolvimento Rural, que deve se nortear pela manutenção de estradas rurais e conservação do solo, de modo a evitar erosões e assoreamentos de córregos. Como fonte de recursos, o Pagamento por Serviços Ambientais, presentes no Programa Produtor de Água do governo estadual, foi aventado (Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto, 2021).

Observando-se o Plano de Bacia (CBHTG, 2017) e o zoneamento ambiental proposto no Plano Diretor, **houve sinergia parcial** entre os Planos analisados, pois o Plano de Bacia apresenta somente a elaboração de carta de zoneamento da suscetibilidade natural das unidades de relevo da Bacia para subsidiar ações de conservação do solo, inexistindo ações para sua utilização nos municípios da bacia.

Usos preponderantes e pretendidos das águas e potenciais conflitos

|Analisando-se o Plano de Bacia CBHTG (2017), foi possível caracterizar as demandas por recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O conhecimento da demanda de água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, pois reflete a pressão direta sobre a disponibilidade hídrica, podendo evidenciar situações críticas ou de conflito.

A maior quantidade de outorgas emitidas pelo DAEE foi concedida para uso relacionado à irrigação (31,16% do total); na sequência, havia o uso sanitário (19,06% do total), o abastecimento público (17,06%), as soluções alternativas para abastecimento privado (8,06%) e uso industrial (7,56%). O restante dos usos representou menos de 5% cada do número total de outorgas. O município de São José do Rio Preto possui as maiores quantidades de outorgas tanto para uso consuntivo quanto para uso não consuntivo na Bacia (CBHTG, 2017).

Quanto ao Plano Diretor, há menção sobre o tema no inciso II, referente aos usos para abastecimento, coleta e tratamento de esgotos: “gestão dos recursos hídricos para abastecimento público deverá considerar, necessariamente, planos e ações que visem a redução do consumo, redução de perdas e implantação de sistema de coleta e tratamento de efluentes” (São José do Rio Preto, 2021 artigo 64, inciso I).

Nesse sentido, é importante ressaltar que a autarquia do município possui em funcionamento 344 poços do aquífero Bauru e 9 do aquífero Guarani. Em relação às captações superficiais, o volume tratado e disponibilizado à população em 2020 foi de 9.795.247m3, enquanto, para as captações subterrâneas em 2020, o volume captado e disponibilizado à população foi de 39.903.214m3. Atualmente, as captações superficiais presentes nos lagos 1 e 3 da represa municipal de São José do Rio Preto são responsáveis por aproximadamente 25% da água que abastece o município. Os 75% restantes são oriundos tanto do aquífero Guarani (25% aproximadamente) quanto do aquífero Bauru (50% do total).

São José do Rio Preto possui uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no município e todo o lodo e subprodutos do processo são encaminhados para a Estação e Tratamento de Esgoto (ETE).

No Plano Diretor Municipal, não há destaque para outros usos preponderantes ou pretendidos das águas para além do abastecimento público (São José do Rio Preto, 2021).

O Plano de Bacia e o Plano Diretor apresentam compatibilidades somente quanto ao uso principal das águas, que é o abastecimento público. Houve, portanto, uma **sinergia parcial** entre os planos.

Quantidade e qualidade hídricas (superficial e subterrâneas)

De acordo com o Plano de Bacia CBHTG (2017), em relação à disponibilidade de água superficial, São José do Rio Preto, detentor dos menores valores da Bacia, apresentou valores decrescentes durante o período, com pico ascendente apenas em 2010 para as águas superficiais. Em termos de disponibilidade de água subterrânea, além de também apresentar os menores valores da Bacia, obteve diminuição durante o período analisado, com valores decrescentes nos três primeiros anos da sua série histórica, com uma redução contínua a partir de 2010 até o ano de 2015.

Em relação à qualidade das águas superficiais, segundo a média anual do Índice de Qualidade das Águas (IQA), destaca-se o ponto PRET 04300, que apresentou tendência de piora, situado à jusante da Estação de Tratamento de Esgotos do município. No Anexo F do Plano de Bacia CBHTG (2017) há previsão de uma obra de ampliação e adequação de sistema de tratamento de esgotos no município.

Já a análise da qualidade da água subterrânea levou em consideração a elevada concentração de nitrato, um indicador de potabilidade, que pode ocasionar danos à vida aquática e restrições de usos diversos. De forma geral, os resultados obtidos mostram que a classe "Potável" oscilou ao longo do período considerado (2007 a 2015), representando a maioria das amostras em todos os anos, correspondendo a 73,53% do total. No entanto, apesar desses resultados, são necessárias melhorias no sistema de tratamento da água captada (CBHTG, 2017).

No Plano Diretor, há como princípio, no ordenamento territorial presente em seu artigo 7º, inciso III "Controlar, conservar e recuperar a qualidade hídrica das bacias do município". Já o inciso IV apresenta "Utilizar os recursos naturais de modo racional, em especial a água e o solo, objetivando garantir um município sustentável para as presentes e futuras gerações". Desse modo, superficialmente, o Plano Diretor se atenta à qualidade e disponibilidade hídrica do município (São José do Rio Preto, 2021).

Houve, nesse tema, **sinergia** de objetivos presentes nos Planos de Bacia e Plano Diretor Municipal, posto que ambos buscam a melhoria da qualidade hídrica.

Coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos e rurais

De acordo com o Plano de Bacia do CBHTG (2017), os dados da sub-bacia mostram São José do Rio Preto e Mirassol com as melhores taxas de coleta de resíduos domiciliares, havendo pouca oscilação na série histórica analisada (2010 a 2015), com valor máximo nos três últimos anos do período. São José do Rio Preto apresenta os maiores valores para geração de resíduo sólido domiciliar, com comportamento semelhante na série histórica analisada (2011 a 2015).

No ano de 2013, houve crescimento expressivo na quantidade de resíduos sólidos urbanos enviada ao aterro municipal. Nota-se que, após o aumento ocorrido em 2013, manteve-se a parcela estimada de resíduos sólidos urbanos gerados e encaminhados para tratamento e/ou destinação em aterro CBHTG (2017).

O Plano Diretor traz diretrizes e objetivos gerais referente à Política de Gestão de Resíduos Sólidos, em que aborda a intensificação do sistema de fiscalização do descarte irregular; monitoramento e controle do encerramento do antigo aterro; implantação do Plano de Gerenciamento para os grandes geradores; incentivo e ampliação da coleta seletiva; desenvolvimento de programas com metas de redução da geração de resíduos; integração entre indústria e distribuidores visando a logística reversa e desenvolvimento de estudos para a implantação de novas tecnologias (São José do Rio Preto, 2021).

Ambos os Planos não abordam sobre a coleta e destinação de resíduos rurais. Desse modo, houve **sinergia** entre os Planos analisados, que abrangeram somente a área urbana.

Drenagem urbana

De acordo com o Plano Diretor (São José do Rio Preto, 2021), no artigo 64, subseção II - Da Política de Gestão do Ciclo Urbano das Águas, em seu inciso V, há o estabelecimento de medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana. O inciso VI desse artigo aborda a manutenção de áreas permeáveis nas bacias de drenagem urbana e o inciso VII traz a implantação de parques urbanos em locais estratégicos para a macrodrenagem urbana, com previsão de grandes áreas permeáveis e reservatórios de retenção de água, visando a redução dos impactos promovidos pela condução superficial da água de drenagem.

Segundo o Plano de Bacia CBHTG (2017), o parâmetro relacionado à infraestrutura de drenagem urbana, em fase de estudo, não dispõe de fonte oficial de dados. Dessa forma, em razão da carência de informações sistematizadas, propôs-se a avaliação de possíveis ações futuras. Para o prognóstico, foi realizado um levantamento dos projetos de drenagem e macrodrenagem em áreas urbanas e rurais subsidiados pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO).

Na UGRHI 15, foram identificados oito tipos de empreendimentos que se enquadram em planos e obras de drenagem/macrodrenagem, sendo: Plano Diretor de Macrodrenagem; Plano Diretor de Macrodrenagem de área urbana; e Plano Diretor de Macrodrenagem em área rural nos municípios de: Jales, Cajobi, Monte Azul Paulista, Álvares Florence, Meridiano, Santa Adélia, Uchoâ e Onda Verde. Dos oito empreendimentos, seis estão concluídos, um em fase de execução e um ainda não iniciado.

Desse modo, tendo em vista a inexistência de informações sobre drenagem urbana no Plano de Bacia a respeito do município de São José do Rio Preto, **não houve sinergia** entre os Planos analisados, pois o Plano de Bacia não apresenta ações referentes à infraestrutura de drenagem no município.

Erosões rurais e urbanas

Em se tratando de erosões, segundo o Plano Diretor (São José do Rio Preto, 2021), no artigo 64, inciso VIII, há a necessidade de normas sobre a execução e manutenção de obras de terraplenagem e estradas rurais visando evitar assoreamento e erosão nos canais de drenagem. Já no artigo 72, inciso II b, menciona-se a importância do controle da erosão e danos ambientais nas estradas e propriedades rurais.

Analisando-se a ocorrência de erosões na área rural, verifica-se que as sub-bacias Cascavel/Cã-Cã, Ribeirão do Marinheiro e Rio Preto apresentam o maior número de eventos de erosão, com 164, 81 e 55, respectivamente. Quanto a ocorrência de erosões na área urbana, verifica-se que, entre as sub-bacias que apresentam maior número, destacam-se: Rio São Domingos, com 41 registros; Rio Preto, com 40 registros; Ribeirão do Marinheiro, com 22 registros; e Cascavel/Cã-Cã e Alto Turvo, com 17 eventos cada (CBHTG, 2017).

De acordo com o Plano de Bacia CBHTG (2017), nas ações que constam no Prognóstico, está prevista a realização do levantamento georreferenciado de erosões urbanas; desenvolvimento de projeto que forneça subsídios orientadores para ações não estruturais ao combate de erosões urbanas e rurais; elaboração de mapa georreferenciado da vulnerabilidade e riscos de erosão em estradas da malha vicinal e recuperação de erosões urbanas e rurais.

Desse modo, **houve sinergia** entre os Planos analisados em termos de objetivos comuns de controle das erosões rurais e urbanas.

Arborização urbana

O Plano de Bacia não aborda diretrizes para a arborização urbana na UGRHI 15, enquanto o Plano Diretor Municipal menciona, de forma superficial, que o Plano de Arborização deverá manter articulação, interação e integração com as diretrizes do Plano Diretor. No entanto, a arborização influencia a qualidade e quantidade hídricas na Bacia.

Desse modo, **não houve sinergia** entre os Planos analisados.

Áreas especialmente protegidas (áreas de preservação permanente, reservas legais, terras indígenas e quilombolas e unidades de conservação)

Conforme o Plano de Bacia CBHTG (2017), na área da UGRHI 15, há quatro Unidades de Conservação: duas Estações Ecológicas – Estação Ecológica de Paulo de Faria e Estação Ecológica do Noroeste Paulista, ambas criadas pela esfera Estadual em 1981 e 1999, respectivamente; um Parque Municipal (Parque Natural Municipal da Grota de Mirassol), criado em 2001, e uma Reserva Biológica estadual (Reserva Biológica de Pindorama), criada em 1986.

A Estação Ecológica de Paulo de Faria está inserida na sub-bacia Bonito/Patos/Mandioca, no município de Paulo de Faria, enquanto a Estação Ecológica do Noroeste Paulista abrange áreas dos municípios de Mirassol e São José do Rio Preto, inserindo-se na sub-bacia Rio Preto. No limite externo da sub-bacia Rio Preto, no município de Mirassol, encontra-se o Parque Natural Municipal da Grota de Mirassol. Por fim, a Reserva Biológica de Pindorama, que está inserida na cidade de Pindorama, situa-se na sub-bacia Rio São Domingos.

De acordo com o Plano de Bacia CBHTG (2017), está prevista a realização de estudos e seleção de áreas para implantação de Unidades de Conservação na UGRHI, cadastramento de viveiros existentes e indicação de necessidades de implementação de outros para produção de mudas nativas (criação de banco de mudas) visando a recuperação de áreas degradadas, reflorestamento e de áreas de preservação. Há também o Programa de recuperação de matas ciliares nas nascentes do Rio Preto

No Plano de Bacia, não há menção às Áreas de Proteção Permanente, Reservas Legais e Terras Indígenas e quilombolas, sendo as duas últimas inexistentes na Bacia.

O Plano Diretor Municipal traz um destaque para a proteção das Unidades de Conservação do Município, classificando-as como Áreas de Especial Interesse Ambiental, além de definirem as Áreas de Preservação Permanente com faixas lindeiras maiores do que o estabelecido no Código Florestal Federal de 2012, criando as Áreas de Preservação Municipal. Dessa forma, o Plano Diretor tem um enfoque maior à proteção dessas áreas do que o Plano de Bacia.

Desse modo, houve uma **sinergia parcial** dos Planos analisados, tendo em vista que, em ambos, há mecanismos para a proteção e conservação das Unidades de Conservação existentes, como a necessidade de sua ampliação, além de estabelecerem

programas de recuperação de nascentes e matas ciliares; porém o Plano de Bacia não aborda as Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais.

Perdas hídricas no sistema de abastecimento do município

Em relação às perdas hídricas, o Plano Diretor faz menção a seu respeito no artigo 64, inciso II: "A gestão dos recursos hídricos para abastecimento público deverá considerar, necessariamente, planos e ações que visem a redução do consumo, redução de perdas e implantação de sistema de coleta e tratamento de efluentes" (São José do Rio Preto, 2021, artigo 64, inciso II).

No Plano de Bacia (CBHTG, 2017), o índice de perdas do sistema de distribuição de água é o percentual estimado de perdas do sistema público de abastecimento de água e, também, está fortemente ligado à qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos. Considerando-se apenas o ano de 2015 com relação ao enquadramento dos municípios nos valores de referência

estabelecidos, São José do Rio Preto apresenta a classificação Regular, com índice de perdas do sistema de distribuição de água de 31,89%. Há a necessidade de elaboração de ações de combate às perdas nos sistemas municipais de abastecimento público.

Desse modo, **houve sinergia** entre os Planos analisados.

Ações de educação ambiental

A Educação Ambiental tem destaque no Plano Diretor na Subseção IX, "Da Educação Ambiental", estabelecendo que a Política Municipal de Educação Ambiental poderá ser revisada se necessário, segundo o estabelecido pelo Plano Diretor, devendo estar presente nas diferentes ações propostas pela Política Municipal de Meio Ambiente, considerando a transversalidade do tema e devendo atender às diretrizes e objetivos propostos no Plano Diretor (São José do Rio Preto, 2021).

No Plano de Bacia, em seu prognóstico, nas propostas de intervenção para a Gestão dos Recursos Hídricos da UGRHI-15, o Tema 9 – Difusão de informação e educação ambiental com foco em recursos hídricos, com base no Diagnóstico e no Prognóstico, sugere-se: Priorizar as ações do Plano de Educação Ambiental e Mobilização Social com foco na gestão dos recursos hídricos; Promover eventos técnicos e de divulgação e Financiar empreendimentos de difusão do conhecimento pertinente à UGRHI 15 (CBHTG, 2017).

Desse modo, pode-se inferir que **houve sinergia** entre os Planos analisados, visto que o Plano Diretor trata da Educação Ambiental de forma ampla, versando não somente a respeito dos recursos hídricos, em que ambos os Planos preveem ações de Educação Ambiental de forma efetiva.

Após a análise do Plano de Bacia e do Plano Diretor, foi possível avaliar as sinergias evidenciadas entre os Planos.

Nesse sentido, destaca-se que os critérios que apresentaram convergência de objetivos e/ou prognósticos comuns foram "*Quantidade e qualidade hídricas*", "*Coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos e rurais*", "*Erosões rurais e urbanas*", "*Perdas hídricas no sistema de abastecimento do município*" e "*Ações de Educação Ambiental*", o que contemplou 50% dos temas selecionados para estudo.

Em relação aos pontos com sinergias parciais, em que os Planos não estabelecem de forma evidente a identificação de problemas e proposição de ações comun**s,** destacaram-se o "*Zoneamento Ambiental*", "*Usos preponderantes e pretendidos das águas e potenciais conflitos*", e "*Áreas especialmente protegidas*", abrangendo 30% dos temas analisados.

Já a ausência de sinergias entre os Planos se deu nos seguintes critérios: "*Drenagem Urbana*" e "*Arborização Urbana*", contemplando somente 20% dos temas analisados.

A partir desta análise, verifica-se que a maioria dos critérios apresentaram algum grau de convergência entre os Planos. Tendo em vista que, segundo as Atas observadas, não houve menções ao Plano de Recursos da UGRHI na revisão do Plano Diretor, infere-se que as sinergias apontadas não ocorreram para o atendimento das diretrizes do Plano de Bacia, mas pela necessidade de se incluir aspectos ambientais no Plano Diretor, conforme disposto no Estatuto da Cidade. As desarticulações encontradas apontam pela ausência de análise das recomendações do Plano de Bacia, conforme verificado.

Considerações Finais

Conclui-se que, por meio da análise do Plano de Bacia da UGRHI 15 e do Plano Diretor de São José do Rio Preto, a gestão compartilhada e integrada não ocorreu de forma sistêmica por diversos fatores, tais como: os representantes do município no Comitê não atuaram de modo sistêmico nas duas esferas (regional e municipal), de modo que os objetivos, diagnóstico e prognóstico presentes no Plano de Bacia não se refletiram com intencionalidade no Plano Diretor Municipal, mesmo que diversos critérios comuns apresentassem sinergias entre os Planos. Por meio da análise do processo de revisão do Plano Diretor, não houve consulta ao Plano de Bacia para norteá-lo no aspecto hídrico. Tal ausência de articulação entre Planos é uma prática no Brasil que precisa ser repensada pelos gestores públicos e sociedade interessada.

Sendo assim, para garantir a sinergia entre os Planos, é fundamental que haja ações e movimentos que estimulem que os Planos Diretores se conectem aos Planos de Bacias, como o emprego da Avaliação Ambiental Estratégica no planejamento. Além disso, poderia ser discutido no âmbito dos Comitês de Bacia critérios de priorização para a obtenção de recursos com o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), em que os municípios que necessitam elaborar e revisar Planos Diretores e adotassem a gestão integrada receberiam pontuação maior diante dos demais, estimulando-a.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico.

Referências Bibliográficas

Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional e Recursos Hídricos. Brasília: DOU de 08/1/1997.

Brasil. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: DOU de 10/7/2001.

CBHTG- Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo e Grande; 2017. **Plano de Bacia da UGHRI 15 (Turvo/Grande) ano 2017**. 2017. Disponível em: < https://comitetg.sp.gov. br/site/wp-content/uploads/2020/05/01-Plano-de-Bacia-do- -CBH-TG-2017.zip>.

Dyckman, C.; 2018. Planning without the planners: South Carolina's Section 319 local wathershed planning process. Environmental Science and Policy, v.89, p.126-141.

Justi, A. P; Rauen, W. B.; 2018. Gestão integrada de recursos hídricos e uso do solo urbano nas principais leis federais brasileiras. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.16(2), p.213-225.

Maricato, E.; 2000. **As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias:** planejamento urbano no Brasil. In: Arantes, O. (org). A cidade do pensamento único: desmanchando consensos. Petrópolis: Vozes, p.121-196.

Menzori, I. D.; Souza, I. C. N.; Gonçalves, L. M.; 2021. Urban Growth management and territorial governance approaches: a master plans conformance analysis. Land Use Policy, 105, p. 3-19, 2021.

Peres, R. B.; Silva, R. S.**;** 2013. Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. Sociedade & Natureza**, v.**25(2), p.349-362.

Pizella, D. G.; 2015. A relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográficas na gestão hídrica**.** Revista Ambiente e Água. An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, v.10(3), p.635-645.

Pizella, D. G.; 2019. Avaliação ambiental estratégica como instrumento para a gestão integrada dos recursos hídricos: estudo de caso do plano de Bacia do São José dos Dourados e do Plano Diretor Municipal de Ilha Solteira, SP. Holos Environment, v.19(3), p.338-3552019.

Prefeitura de São José do Rio Preto. **Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de São José do Rio Preto**. 2021. Disponível em: <https://www.riopreto.sp.gov.br/ plano-diretor/>.

Rocco, R.; Royer, L.; Gonçalves, F. M.; 2019 Characterization of Spatial Planning in Brazil: The Right to the City in Theory and Practice. Planning Practice & Research, v.34(4), p.419- 437.

Santin, J. R.; Corte, T. D.; 2012 Planejamento das cidades e o princípio da prevenção na gestão dos recursos hídricos. Revista Memória em Rede, 2(7), p. 1-15.

Villaça, F.; 1999. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: Deák, C.; Schiffer, S.R. (orgs). O processo de urbanização no Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.169 -243.

OTIMIZAÇÃO HIDRÁULICA E PEDAGÓGICA: PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL EM AMBIENTE UNIVERSITÁRIO

1Germano de Oliveira Mattosinho, 2Humberto Coelho de Melo
1IFMG Campus Piumhi, e-mail:germano.mattosinho@ifmg.edu.br; 2 1IFMG Campus Piumhi, e-mail: humberto.melo@ifmg.edu.br

Palavras-chave: Irrigação por Aspersão; Gestão Hídrica; Educação Aplicada.

Resumo

Este artigo detalha o projeto e o dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão de alta eficiência para as áreas verdes do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Piumhi. A pesquisa aborda a integração de princípios de hidráulica, pedologia e engenharia de sistemas para desenvolver uma solução otimizada que não apenas atende às demandas hídricas da vegetação, mas também serve como uma plataforma de aprendizado prático para estudantes de Engenharia Civil. A metodologia incluiu levantamento topográfico por aerofotogrametria por drone, caracterização detalhada do solo, modelagem computacional em AutoCAD Civil 3D e cálculos hidráulicos rigorosos para seleção de aspersores, dimensionamento de tubulações e especificação do conjunto motobomba. A setorização do sistema e a escolha de componentes de baixo consumo energético e hídrico foram estratégias centrais para a sustentabilidade e otimização de custos. Os resultados demonstram a viabilidade técnica e econômica da solução proposta, evidenciando sua replicabilidade e o impacto positivo na formação de profissionais capacitados para os desafios da gestão de recursos hídricos.

Introdução

A crescente pressão sobre os recursos hídricos globais, impulsionada por fatores como o crescimento populacional, a urbanização e as mudanças climáticas, exige uma reavaliação urgente das práticas de consumo e gestão da água. Em ambientes urbanos e institucionais, a manutenção de áreas verdes, embora essencial para o bem-estar e a qualidade ambiental, representa um desafio significativo em termos de demanda hídrica. A irrigação, quando não otimizada, pode se tornar uma fonte considerável de desperdício (Embrapa, 2024). Diante desse cenário, a busca por soluções de irrigação eficientes e sustentáveis não é apenas uma questão de engenharia, mas um imperativo ambiental e social.

O Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Piumhi (Figura 1), alinhado à sua missão de promover a educação de excelência e a sustentabilidade, identificou a oportunidade de desenvolver um projeto de irrigação que transcendesse a mera funcionalidade. Este projeto foi concebido como um laboratório vivo, onde os princípios teóricos da Engenharia Civil, particularmente da hidráulica, pudessem ser aplicados em um contexto real, proporcionando uma experiência de aprendizado imersiva e prática para os discentes. A iniciativa visa não apenas otimizar o consumo de água nas áreas gramadas do campus, mas também capacitar a próxima geração de engenheiros com habilidades práticas e uma mentalidade voltada para a sustentabilidade.

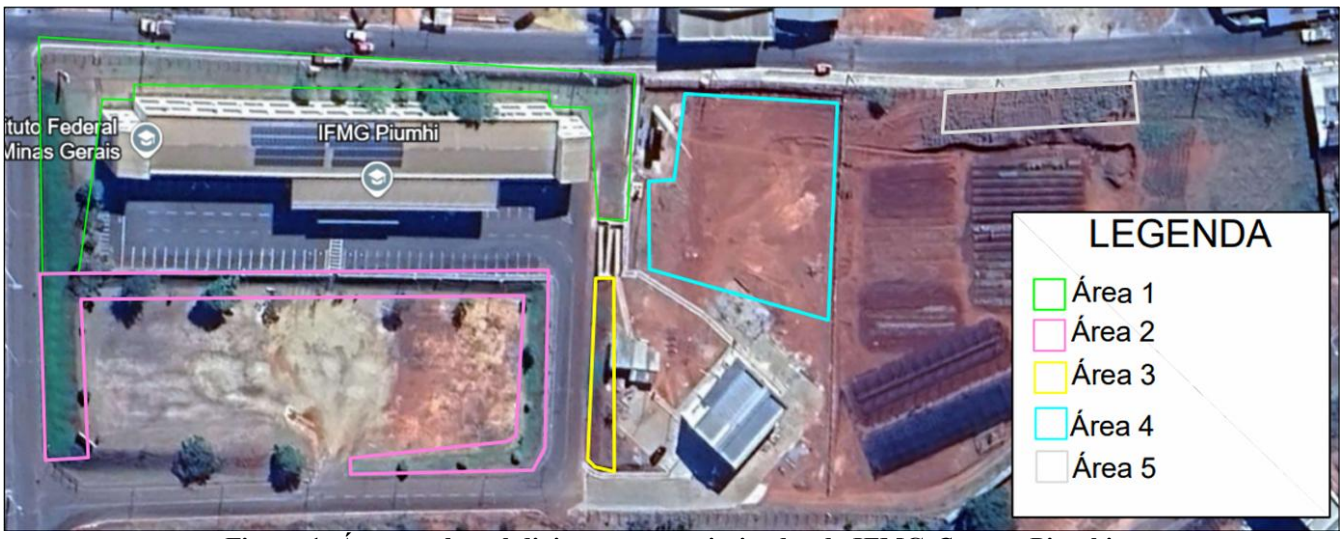


Figura 1: Área total e subdivisões a serem irrigadas do IFMG *Campus* Piumhi.

Este artigo tem como objetivo apresentar o projeto e o dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão para o IFMG – Campus Piumhi, detalhando a metodologia empregada, os resultados técnicos alcançados e as implicações para a

sustentabilidade e a educação em engenharia. Busca-se demonstrar como a aplicação de conhecimentos técnicos avançados pode resultar em soluções ambientalmente responsáveis e economicamente viáveis, ao mesmo tempo em que enriquece a formação acadêmica.

Materiais e Métodos

O levantamento topográfico, obtido via aerofotogrametria com drone, permitiu a delimitação das áreas irrigáveis, totalizando 5.905,89 m², divididas em dois setores. A vegetação predominante é de gramíneas com necessidade de irrigação estimada em 6 a 7 mm/dia. Análises laboratoriais indicaram solo siltoso-argiloso de baixa permeabilidade.

Modelado no AutoCAD Civil 3D, o sistema considerou aspersores Uni-Spray (Figura 2) e Micrão Rotor Rain (Figura 3), com vazão unitária definida conforme catálogo técnico. A lâmina líquida (IRN) foi adotada como 5,6 mm/dia, e a lâmina bruta (ITN), ajustada por eficiência de 60%, resultou em 9,33 mm/dia. O cálculo da vazão total e da pressão necessária subsidiou a escolha do conjunto motobomba.



Figura 2: Aspersor modelo Uni-Spray.



Figura 3: Micro Aspersor Micrão.

Foram dimensionados 83 aspersores para o setor 1 (3.192,44 m²) e 30 para o setor 2 (2.713,45 m²). A perda de carga foi avaliada pela equação de Darcy-Weisbach e o número de Reynolds, considerando diferentes diâmetros de tubulação. Adotou-se uma solução híbrida: 50 mm na tubulação principal, reduzindo para 32 mm em trechos secundários.

A concepção e o dimensionamento do sistema de irrigação foram conduzidos por uma metodologia rigorosa, integrando dados de campo, análises laboratoriais, modelagem computacional e cálculos hidráulicos.

- Caracterização da Área e Levantamento Topográfico

O estudo foi realizado nas áreas verdes do IFMG – Campus Piumhi. O levantamento topográfico detalhado do campus foi obtido por meio de aerofotogrametria com drone, garantindo alta precisão na coleta de dados altimétricos e planimétricos. Os dados brutos foram processados e importados para o software AutoCAD Civil 3D, que serviu como plataforma central para a modelagem do terreno, delimitação das áreas irrigáveis e planejamento da rede de irrigação (Miranda, 2019). A área total a ser irrigada foi precisamente quantificada em 5.905,89 m².

- Caracterização do Solo e Demanda Hídrica

A caracterização física do solo foi baseada em análises laboratoriais prévias realizadas no campus (Brito, 2020), que indicaram uma predominância de argila siltosa com baixa permeabilidade. Essa característica pedológica é crucial, pois influencia diretamente a taxa de infiltração da água no solo, determinando a intensidade máxima de aplicação do sistema para evitar escoamento superficial e perdas por percolação profunda (Marouelli *et al.,* 2008).

A demanda hídrica da cultura predominante (gramíneas) foi estimada em 6 a 7 mm/dia. Para o dimensionamento, foram calculadas a Lâmina Líquida (IRN) e a Lâmina Bruta (ITN):

Lâmina Líquida (IRN): Representa a quantidade de água que a cultura necessita para seu desenvolvimento ótimo, considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação efetiva (Pe). A ETc foi calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET0) de 7 mm/dia (dado climatológico regional) e do coeficiente de cultura (Kc) de 0,8 para gramíneas, resultando em ETc = 5,6 mm/dia (Marouelli *et al.,* 2008). Considerando um período de irrigação sem chuva, a Pe foi assumida como zero. Assim, IRN = ETc - Pe = 5,6 mm/dia.

Lâmina Bruta (ITN): Corresponde à quantidade total de água que deve ser aplicada pelo sistema para suprir a IRN, levando em conta a eficiência de aplicação do sistema (E). Adotou-se uma eficiência de 60% para sistemas de aspersão, resultando em ITN = IRN / E = 5,6 mm/dia / 0,60 = 9,33 mm/dia.

- Concepção do Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação por aspersão convencional permanente foi selecionado devido à sua adequação para áreas fixas e à sua capacidade de proporcionar alta uniformidade de aplicação (Biscaro, 2010). Para otimizar o consumo de energia e os custos de implantação, a área total foi subdividida em cinco subáreas, posteriormente agrupadas em dois setores de irrigação. Essa

setorização permite que o sistema opere em ciclos sequenciais, reduzindo a demanda simultânea de vazão e, consequentemente, a potência necessária da motobomba.

- Seleção de Componentes e Dimensionamento Hidráulico

A seleção dos aspersores foi baseada em critérios de eficiência, uniformidade de distribuição, discrição e adaptabilidade às características das áreas. Optou-se pelos aspersores Uni-Spray da Rain Bird, que se elevam durante a operação e se retraem quando inativos, minimizando o impacto visual e o risco de danos. Foram utilizados bocais específicos (12 VAN para 180° (Figura 4) e 18 VAN para 180° e 360° (Figura 5), cujas características de vazão e raio de alcance foram obtidas diretamente dos catálogos técnicos do fabricante (Rain Bird, 2023).

Série 12 VAN

15°

Bocal	Pressão bar	Raio m	Vazão m³/h	Vazão l/s	Precip mm/h	Precip mm/h
360° Arco	1.0	2.7	0.35	0.09	48	55
	1.5	3.2	0.44	0.12	43	50
	2.0	3.6	0.52	0.14	41	47
	2.1	3.7	0.54	0.15	40	46
270° Arco	1.0	2.7	0.26	0.07	48	55
	1.5	3.2	0.33	0.09	43	50
	2.0	3.6	0.39	0.10	41	47
	2.1	3.7	0.41	0.11	40	46
180° Arco	1.0	2.7	0.17	0.04	48	55
	1.5	3.2	0.22	0.06	43	50
	2.0	3.6	0.26	0.07	41	47
	2.1	3.7	0.27	0.07	40	46
90° Arco	1.0	2.7	0.09	0.02	48	55
	1.5	3.2	0.11	0.03	43	50
	2.0	3.6	0.13	0.03	41	47
	2.1	3.7	0.14	0.03	40	46

Figura 4: Dados aspersor 12VAN.

Série 18 VAN

26°

Bocal	Pressão bar	Raio m	Vazão m³/h	Vazão l/s	Precip mm/h	Precip mm/h
360° Arco	1.0	4.3	0.96	0.26	52	60
	1.5	4.8	1.07	0.30	47	55
	2.0	5.4	1.20	0.33	41	48
	2.1	5.5	1.21	0.33	40	46
270° Arco	1.0	4.3	0.72	0.20	52	60
	1.5	4.8	0.80	0.22	47	55
	2.0	5.4	0.90	0.24	41	48
	2.1	5.5	0.91	0.25	40	46
180° Arco	1.0	4.3	0.48	0.13	52	60
	1.5	4.8	0.54	0.15	47	55
	2.0	5.4	0.60	0.16	41	48
	2.1	5.5	0.61	0.16	40	46
90° Arco	1.0	4.3	0.24	0.06	52	60
	1.5	4.8	0.27	0.07	47	55
	2.0	5.4	0.30	0.08	41	48
	2.1	5.5	0.30	0.08	40	46

Figura 5: Dados aspersor 18VAN.

O dimensionamento da rede de tubulações visou minimizar as perdas de carga e garantir a pressão adequada nos aspersores. Inicialmente, a Fórmula de Bresse foi utilizada para estimar os diâmetros econômicos. Contudo, para uma análise mais precisa e otimizada, foram empregadas as seguintes equações fundamentais da hidráulica:

Equação da Continuidade: Para determinar as velocidades de fluxo em diferentes seções da tubulação.

Número de Reynolds (Re): Para caracterizar o regime de escoamento (laminar, transição ou turbulento), fundamental para a escolha da equação de perda de carga. $Re = V.D/\vartheta$. Onde: D = diâmetro do tubo; V = velocidade do fluxo; ϑ = viscosidade cinemática do fluido.

Equação de Darcy-Weisbach: Para o cálculo das perdas de carga por atrito (Hf) em cada trecho da tubulação. O fator de atrito (f) foi determinado pela equação de Swamee-Jain, que é aplicável a uma ampla gama de regimes de escoamento e rugosidades. $Hf = f.\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$. Onde: f = fator de atrito; L = comprimento do tubo; D = diâmetro do tubo; V = velocidade do fluxo; g = aceleração da gravidade.

Tabela 1 - Sugestão de Diâmetro de Tubulação por Vazão.

Vazão (m³/h)	Diâmetro Mínimo (mm)
< 0,5	20
0,5 - 1,5	25
1,5 - 3,0	32
3,0 - 6,0	40
6,0 - 12,0	50
12,0 - 20,0	65
20,0 - 35,0	80
35,0 - 50,0	100

Fonte: SCHNEIDER. Manual de instruções. 2021, 2025

A análise iterativa dessas equações, considerando diferentes diâmetros comerciais, levou à adoção de uma solução híbrida: tubulação principal de 50 mm (PEAD) e ramais secundários de 32 mm (PEAD). Essa configuração otimiza o balanço entre perdas de carga aceitáveis e custos de material.

A seleção da motobomba foi baseada na vazão total requerida pelo setor de maior demanda e na Altura Manométrica Total (AMT) do sistema. A AMT foi calculada como a soma da altura geométrica de sucção, altura geométrica de recalque, perdas de carga na sucção e recalque, e a pressão residual necessária no ponto mais desfavorável do sistema. A curva característica da bomba foi comparada com a curva do sistema para identificar o ponto de operação ideal. A bomba multiestágio

Schneider ME AL 2340, de 4 cv, foi selecionada por sua capacidade de atender à demanda setorizada (Schneider Motobombas, 2025). A verificação do NPSH disponível confirmou a adequação da bomba selecionada para as condições de sucção do sistema.

- Modelagem e Análise Computacional

O AutoCAD Civil 3D foi empregado não apenas para a delimitação das áreas, mas também para a modelagem tridimensional da rede de tubulações e a alocação dos aspersores. Essa ferramenta permitiu a visualização espacial do projeto, a identificação de interferências e a otimização do traçado, contribuindo para a precisão do dimensionamento e a estimativa de materiais.

Resultados e Discussão

A vazão total do sistema foi de 41,8 m³/dia, com consumo individual de 22,35 m³ (setor 1) e 19,45 m³ (setor 2). A pressão de operação mínima foi de 15 mca, e a altura manométrica total calculada foi de 60 mca. A bomba selecionada é a Schneider ME AL 2340, de 4 cv, com vazão nominal de 9 m³/h. Para atender a demanda, o sistema foi planejado para operar em turnos.

A divisão em setores permitiu otimização de custos e uso racional da energia, sem prejuízo na uniformidade de aplicação da água. O uso do Civil 3D contribuiu para a precisão da modelagem e para o planejamento eficiente da implantação.

A aplicação da metodologia detalhada resultou em um projeto de irrigação robusto e otimizado, com resultados quantitativos e qualitativos que validam a abordagem proposta.

- Delimitação e Setorização das Áreas

As áreas irrigáveis do campus foram precisamente delimitadas, totalizando 5.905,89 m². A subdivisão inicial em cinco áreas menores (Área 1: 1595,08 m²; Área 2: 1308,13 m²; Área 3: 289,23 m²; Área 4: 2493,68 m²; Área 5: 219,77 m²) permitiu uma gestão modular do projeto. A posterior agregação em dois setores de irrigação foi fundamental para a otimização operacional e econômica:

Setor 1: Compreende as Áreas 1, 2 e 3, totalizando 3.192,44 m². Este setor foi dimensionado para operar com 83 aspersores Uni-Spray equipados com bocais 12 VAN (180°). A vazão total calculada para este setor é de 22,35 m³/dia.

Setor 2: Engloba as Áreas 4 e 5, totalizando 2.713,45 m². Este setor utilizará 24 aspersores Uni-Spray com bocais 18 VAN (360°) e 6 aspersores Uni-Spray com bocais 18 VAN (180°), totalizando 30 aspersores. A vazão total calculada para este setor é de 19,45 m³/dia.

A setorização permite que a irrigação seja realizada em etapas, reduzindo a demanda de vazão instantânea sobre a motobomba e, consequentemente, permitindo a seleção de um equipamento de menor potência e custo, sem comprometer a uniformidade da aplicação.

- Desempenho Hidráulico e Seleção da Motobomba

A vazão total diária do sistema, considerando a operação sequencial dos setores, é de 41,8 m³/dia. A pressão mínima de operação requerida nos aspersores foi de 15 mca. A Altura Manométrica Total (AMT) do sistema, considerando as perdas de carga na tubulação e a pressão residual necessária, foi calculada em 60 mca.

A bomba multiestágio Schneider ME AL 2340, com potência de 4 cv, foi selecionada. Suas características de desempenho (vazão nominal de 9 m³/h e AMT máxima de 63 mca) são compatíveis com a demanda do setor de maior vazão. Embora a vazão nominal da bomba seja inferior à vazão total diária do sistema, a estratégia de operação em turnos (2 a 3 horas diárias por setor) garante que a demanda hídrica seja plenamente atendida. Esta abordagem demonstra uma otimização significativa, pois evita o superdimensionamento da bomba que seria necessário para irrigar todas as áreas simultaneamente, resultando em economia de capital e energia.

- Otimização da Rede de Tubulações

A análise das perdas de carga revelou a ineficiência de diâmetros menores para a tubulação principal. A solução híbrida, com 50 mm na tubulação principal e 32 mm nos ramais secundários, demonstrou ser a mais eficiente em termos de balanço entre perdas de carga e custo de material. As velocidades de fluxo foram mantidas dentro dos limites recomendados para evitar erosão e ruído excessivo, e os números de Reynolds confirmaram o regime de escoamento turbulento, adequado para a aplicação das equações de perda de carga. A precisão da modelagem em AutoCAD Civil 3D foi crucial para o traçado otimizado da rede, minimizando comprimentos e conexões desnecessárias.

- Sustentabilidade e Aplicabilidade da Solução

A superioridade da solução adotada reside na sua capacidade de conciliar alta performance hidráulica com sustentabilidade operacional. A escolha dos aspersores Uni-Spray, por exemplo, não se deu apenas pela discrição, mas pela sua comprovada uniformidade de distribuição, que minimiza perdas por escoamento superficial e otimiza a absorção pela vegetação.

A setorização, por sua vez, é um pilar da eficiência energética, permitindo que a motobomba opere em seu ponto de maior rendimento por períodos mais curtos, reduzindo o consumo total de energia elétrica. Essa abordagem integrada, desde a seleção de componentes até a estratégia de operação, garante que cada gota de água e cada watt de energia sejam utilizados de forma maximamente produtiva, resultando em um sistema que não apenas irriga, mas o faz de maneira inteligente e responsável.

A solução proposta é intrinsecamente sustentável em diversas frentes:

Eficiência Hídrica: O dimensionamento baseado na demanda real da cultura (IRN e ITN), a seleção de aspersores de alta uniformidade e a setorização do sistema minimizam o desperdício de água por escoamento superficial, percolação profunda ou evaporação.

Eficiência Energética: A setorização permite a utilização de uma motobomba de menor potência, reduzindo o consumo de energia elétrica. A otimização da rede de tubulações também contribui para a redução da energia necessária para o bombeamento, ao minimizar as perdas de carga.

Redução de Custos: A otimização do dimensionamento de componentes (bomba, tubulações) e a redução do consumo de energia resultam em menores custos de implantação e operação, tornando o projeto economicamente atrativo.

Impacto Ambiental: A gestão eficiente da água contribui para a conservação dos recursos hídricos locais e reduz a pegada hídrica do campus.

A aplicabilidade da solução transcende o contexto do IFMG Piumhi. A metodologia detalhada neste artigo pode ser replicada em outras instituições de ensino, parques urbanos, condomínios ou propriedades rurais que buscam implementar sistemas de irrigação eficientes e sustentáveis. Os princípios de setorização, otimização de componentes e análise hidráulica rigorosa são universalmente aplicáveis.

- Sumário de Parâmetros Finais do Projeto

Para consolidar os principais resultados do dimensionamento, a Tabela 2 apresenta um sumário dos parâmetros finais do sistema de irrigação proposto.

Tabela 2 - Sumário de Parâmetros Finais do Sistema de Irrigação

Parâmetro	Valor	Unidade
Área Total Irrigada	5.905,89	m²
Lâmina Líquida (IRN)	5,6	mm/dia
Lâmina Bruta (ITN)	9,33	mm/dia
Número Total de Aspersores	113	aspersores
Vazão Total Diária do Sistema	41,8	m³/dia
Pressão Mínima Requerida nos Aspersores	15	mca
Altura Manométrica Total (AMT) do Sistema	60	mca
Motobomba Selecionada	Schneider ME AL 2340, 4 cv	-
Estratégia de Operação	Setorizada (2 a 3 horas/dia)	-

Fonte: Elaborado pelos autores

- Contribuição Pedagógica

Este projeto serviu como um estudo de caso prático de grande valor para os estudantes de Engenharia Civil. A oportunidade de participar ativamente do levantamento de dados, da modelagem computacional, dos cálculos hidráulicos e da seleção de componentes proporcionou uma experiência de aprendizado "mão na massa" que complementa e solidifica o conhecimento teórico adquirido em sala de aula. A complexidade do projeto, que envolveu a integração de diversas disciplinas da engenharia, preparou os discentes para os desafios multifacetados do mercado de trabalho, fomentando o pensamento crítico e a capacidade de resolução de problemas em contextos reais.

Conclusão

O projeto de irrigação do IFMG – Campus Avançado Piumhi representa um marco na integração de soluções de engenharia, sustentabilidade e educação, consolidando-se como um estudo de caso exemplar na gestão hídrica institucional. A abordagem técnica rigorosa, pautada pela otimização hidráulica e pela filosofia de sustentabilidade, demonstrou a viabilidade de um sistema de irrigação por aspersão de alta eficiência, que transcende a mera funcionalidade para se tornar um modelo de aplicabilidade e responsabilidade.

A setorização estratégica das áreas, a seleção criteriosa de emissores de última geração e o dimensionamento otimizado da rede de tubulações e do conjunto motobomba foram pilares fundamentais que garantiram a precisão na aplicação hídrica, a minimização do desperdício de água e energia, e a consequente redução de custos operacionais. Os resultados quantitativos obtidos confirmam a adequação do sistema às necessidades específicas do campus, validando a capacidade de atender à demanda hídrica de forma precisa e eficiente, mesmo com a utilização de uma motobomba de menor potência, operando em ciclos otimizados.

Para além dos benefícios técnicos e ambientais intrínsecos, este projeto destaca-se por sua profunda e inovadora contribuição pedagógica. Ao transformar um desafio prático e real em uma oportunidade de aprendizado aplicado, o IFMG Piumhi não apenas reforça seu compromisso com a formação de profissionais capacitados, mas também os inspira a serem agentes de mudança, conscientes dos imperativos da sustentabilidade e aptos a desenvolver soluções de engenharia responsáveis. A metodologia empregada estabelece um modelo robusto e replicável para outras instituições ou contextos com demandas semelhantes, promovendo o uso consciente da água em larga escala e a disseminação de práticas de engenharia sustentável.

Em suma, este trabalho é um testemunho eloquente de que a engenharia, quando aliada à inovação, à responsabilidade social e ambiental, pode efetivamente construir um futuro mais eficiente, resiliente e sustentável, formando profissionais que serão catalisadores dessa transformação.

Agradecimentos

Aos discentes da disciplina Hidráulica 1 (2024/2) do curso de bacharelado em Engenharia Civil do IFMG *Campus* Piumhi pelo apoio recebido: Ana Laura de Castro, Angélica Mendonça Costa, Annibal Pires Neto, Cleber Freitas Filho, Grazielly Lobato Machado, Helena Bueno Ribeiro, Mariana Machado de Andrade, Robert Natan Araújo, Rubens Júlio Ferreira e Valeria Andrade Yanez.

Referências Bibliográficas

Biscaro, G. A. *Sistemas de Irrigação por Aspersão*. UFGD, 2010.

Brito, D. F. *Caracterização Física do solo do IFMG Campus Avançado Piumhi*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Piumhi, 2020.

Embrapa. *Cartilha Manejo Irrigação*. 2024. Disponível em: ainfo.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 25 mai. 2025.

Marouelli, W. A.; Silva, W. L. C.; Silva, H. F. *Irrigação por aspersão em hortaliças*. Embrapa, 2008.

Miranda, R. D.; Salvi, L. **Análise da tecnologia BIM no contexto da indústria da construção civil brasileira**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 4(5), 79-98, maio, 2019.

Rain Bird. *Catálogo Internacional de Produtos para Gramados.* 2023. Disponível em: www.rainbird.com. Acesso em: 25 mai. 2025.

Schneider Motobombas. *Bomba Multiestágio ME AL 2340*. 2025. Disponível em: www.grupodasbombas.com.br. Acesso em: 25 mai. 2025.

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM PERNAMBUCO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

José Mário de Lima Barbosa Júnior
Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: jose.mjunior@ufpe.br

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Pernambuco, Mudanças Climáticas

Resumo

O presente trabalho possuiu como principal finalidade uma análise dos desafios e oportunidades na gestão dos recursos hídricos no estado de Pernambuco, Brasil, em meio as mudanças climáticas. Buscando entender como os órgãos gestores estão atuando no embate ao agravamento das secas, irregularidade da chuva e abastecimento hídrico. Foram realizados estudos de artigos e relatórios anuais das comissões ambientais e de recursos hídricos para analisar as mudanças referentes a manutenção, investimento em infraestrutura, participação da população e as medidas adotadas.

Introdução

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento humano e a manutenção da vida e dos ecossistemas. Porém, de alguns anos para a atualidade, a disponibilidade hídrica está sendo comprometida por inúmeros fatores, como o aumento populacional em larga escala, o grande gasto nos setores produtores (indústria e agricultura) e ainda as mudanças climáticas.

Ano após ano, as preocupações com os agravamentos dos impactos das mudanças climáticas crescem e desencadeiam inúmeras inquietações na sociedade e nos órgãos governamentais que, visam buscar em comunhão meios de remediar os efeitos e mecanismos que ajudem a diminuir os impactos nos espaços urbanos, ecossistemas e na biodiversidade. O aumento na ocorrência de secas severas, que afetam na disponibilidade hídrica, no aumento da temperatura, de alagamentos que induzem na diminuição da produtividade agrícola, são sinais prévios de que os eventos climáticos estão chegando a patamares extremos, e que consequentemente começaram a afetar a questão da segurança alimentar e o maior aparecimento de conflitos sociais e a busca do ser humano por outras localidades para se desenvolver. (BIAGINI; MILLER, 2013)

O Nordeste do Brasil por estar em situado próximo à linha do equador e em uma área com maior incidência solar, sofre gravemente com a elevação das temperaturas dia pós dia, afetando nas plantações e na rede de distribuição hídrica por decorrência da alta evaporação dos corpos hídricos superficiais. Os impactos das mudanças são sentidos do litoral ao sertão, por virtude dos fenômenos climatológicos que atuam juntamente frente aos condicionantes atmosféricos. Alguns desses fenômenos são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), El niño e La niña.

Esses fenômenos meteorológicos implicam na temperatura ambiente, pluviometria e o fluxo de ventos. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma zona de cômpitos dos ventos alísios do Hemisfério Norte e os do Hemisfério Sul, ela é responsável por produzir a maior partida da chuva na região Nordeste, em anos que a ZCIT não marca presencia a região sofre com a falta de água, que leva a escassez hídrica (CIRILO, 2007). Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), são sistemas sinóticos que se desenvolvem na troposfera, caracterizados por uma circulação fechada com ventos mais frio ao centro e ventos quente em entorno, eles influenciam na dinâmica de chuva no Nordeste durante o pré-estação de Dezembro a Janeiro. (Kousky e Gan, 1981).

Mediante a essas mudanças, os planos de gestão dos recursos adquirem uma prioridade fundamental nas políticas públicas, por buscarem estudar as reservas de águas, a precipitação, escoamento superficial e de como adotar medidas cabíveis que ajudem na implementação de ações que tragam resultados positivos ao ambiente e a sociedade. O estado de Pernambuco possui uma característica hídrica bastante marcante, por deter uma linha costeira litorânea úmida quente e um sertão semiárido. Essa variabilidade acarreta a uma grande onda de desafios aos órgãos gestores no estabelecimento de um plano de integração hídrica. De acordo com Silva (2021), os impactos da falta de gestão hídrica mediante as mudanças climáticas em áreas de semiárido como as localizadas no estado de Pernambuco são ainda mais severos, a diminuição de água nos aquíferos aumentam os conflitos sociais pelo uso da água. Projeções climáticas do Instituto Agronômico de Pernambuco preveem que até 2050, o volume de chuvas no estado de Pernambuco deverá diminuir em 20%, o que pode agravar ainda mais o impacto da escassez hídrica (IPA,2024).

Entrelaçado a essa crescente na vulnerabilidade climática, os órgãos gestores observam um grande desafio para o estabelecimento medidas eficazes em relação a gestão dos recursos hídricos. Um dos primeiros grandes passos na elaboração de medidas, é a realização da descentralização da gestão e criação de centros em localidades específicas para que seja realizado estudo individual da atuação situação hídrica e pluviométrica das áreas, visando em fortalecer as respostas obtidas mediante aos estudos, e além do mais reforçar os comitês de bacia hidrográfica com fornecimento de sistemas eficazes de monitoramento (APAC, 2010). Entretanto, ainda é observada uma enorme lacuna na disponibilidade de instrumentos e equipamentos para a realização de estudos, a baixa iniciativa de articulação setorial das secretarias e órgãos, e a parte fundamental a grande falta de investimento nas infraestruturas hídricas e na manutenção delas (GOMES et al., 2023).

Frente a este cenário, é pontuada uma urgência na discussão de elaboração de estratégias eficazes de adaptação e gestão hídrica no estado de Pernambuco, que sejam capazes de driblar os impactos das mudanças climáticas e diminuir o aumento de

problemas em redes de abastecimento. Este artigo tem como principal objetivo analisar como está sendo a gestão dos recursos hídricos em Pernambuco frente as mudanças climáticas.

Referencial Teórico

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM PERNAMBUCO E NO BRASIL.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) estabelece algumas diretrizes diretas na descentralização da gestão recursos hídricos no Brasil, reconhecendo água como um bem de domínio público que não pode ser negada ou privatizada em nenhuma medida, e que ela é dotada de valor econômico e de um uso múltiplo. Entrelaçado a essa medida, o estado de Pernambuco criou em 1998 o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-PE) em parceria direta com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), no intuito da elaboração de uma ação efetiva para garantir a integração das informações e dados das bacias hidrográficas para garantir a sustentabilidade hídrica estadual. Entretanto esse plano de integração sofre com a baixa atuação participativa dos demais níveis de governança no estado, e enfrenta falta de investimento nas infraestruturas e dificuldades técnicas locais (APAC, 2019)

EFEITOS DA MUDANÇA CLIMÁTICAS SOBRE OS CORPOS HÍDRICOS

Parafraseando Silva (2021), o estado de Pernambuco, mais precisamente as regiões do semiárido enfrentam na pele a mudança drástica no aumento da temperatura e a redução no volume de precipitação, alguns municípios estão em estado de alerta vermelho por baixo índice pluviométrico mensal. O regime hídrico não apenas no semiárido, como também no agreste e zona da mata estão sofrendo alterações gradativas mais rapidamente do que se era projetado no início da década.

MEDIDAS ESTRATÉGICAS EM PERNAMBUCO COM RELAÇÃO AOS RECURSOS HÍDRICOS

O estresse hídrico é um dos maiores inimigos das governanças e da população brasileira, mediante a esta frente, o estado de Pernambuco reformulou em 2010 com ajuda da APAC, o Plano Estadual de Recursos Hídricos, estabelecendo uma nova descentralização na gestão das bacias hidrográficas, as separando em novos grupos mais eficazes (APAC, 2010). Como ressaltado por Gomes (2023), sem uma articulação entre as gestões climáticas e hídricas, o estado de Pernambuco pode enfrentar um grave colapso na segurança hídrica

Materiais e Métodos

Na elaboração deste artigo foi escolhida uma abordagem mais qualitativa e descritiva, construído com uma base bibliográfica sólida de artigos acadêmicos, livros e publicações internacionais, voltados para a temática hídrica e climática no Nordeste e mais precisamente no estado de Pernambuco. Frisando novamente o principal objetivo no entendimento da gestão dos recursos hídricos em Pernambuco frente as mudanças climáticas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica consistiu na separação de diversos alguns artigos científicos e técnicos com relação a realização do plano de gestão hídrica, mudanças climáticas e as medidas referentes a segurança hídrica. Citando estudos acadêmicos como de CIRILO (2007) referente ao uso sustentável dos recursos hídricos no semiárido, GOMES (2023) sobre gestão dos recursos hídricos em Pernambuco e SILVA (2021) relacionado ao balanço hídrico e mudanças climáticas em Pernambuco. Além do mais foi selecionado alguns relatórios referente ao impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos do Brasil (ANA, 2023).

O critério de seleção dos documentos foi mediante a relevância da temática para o contexto pernambucano, dados atualizados e publicados nos últimos 15 anos e também como esses dados contribuem para o entendimento dos desafios e estratégias na gestão dos recursos hídricos mediante ao agravamento das mudanças climáticas.

Resultados e Discussão

Por meio das leituras e análises realizadas, foi possível compreender que o estado de Pernambuco enfrenta sérios problemas relacionados ao abastecimento hídrico e a gestão na distribuição de água, principalmente no Agreste e Sertão Pernambucano. Esses problemas estão inteiramente correlacionados com as drásticas mudanças climáticas que alteram fortemente o regime pluviométrico das áreas. A APAC (2019), divulgou por meio de um relatório que é perceptível a diminuição dos dias chuvosos e também da irregularidade dos próprios ao longo dos anos. Nos dias vigentes, o estado de Pernambuco possui cerca de 54 reservatórios distribuídos nas 15 Bacias Hidrográficas do estado, dando destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe que sozinha possui 10 reservatórios. Com relação a quantidade de rios, destacasse a Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca com 8 cursos de água e a UP02 – Metropolitana Norte com 8 cursos de água.

Os eventos extremos como seca e falta de chuva são presenciados com mais frequência no sertão de Pernambuco, não da forma a qual era se analisado antes, nos últimos meses, a seca moderada avançou no noroeste e houve um agravamento da seca no oeste e sul, que passou de moderada para grave. Os impactos são de curto e longo prazo no Oeste, e de curto prazo no restante do estado (ANA, 2025). Disclosure Insight Action (CDP), por meio de um relatório no qual evidencia quais os estados que possuem fóruns de discussões sobre as mudanças climáticas, citou Pernambuco com o Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (CEEM), criado por meio do decreto 33.015/2009. O fórum é composto por entidades governamentais, conselho dos recursos hídricos, e a comissão de meio ambiente da ALEPE (Assembleia Legislativa de Pernambuco).

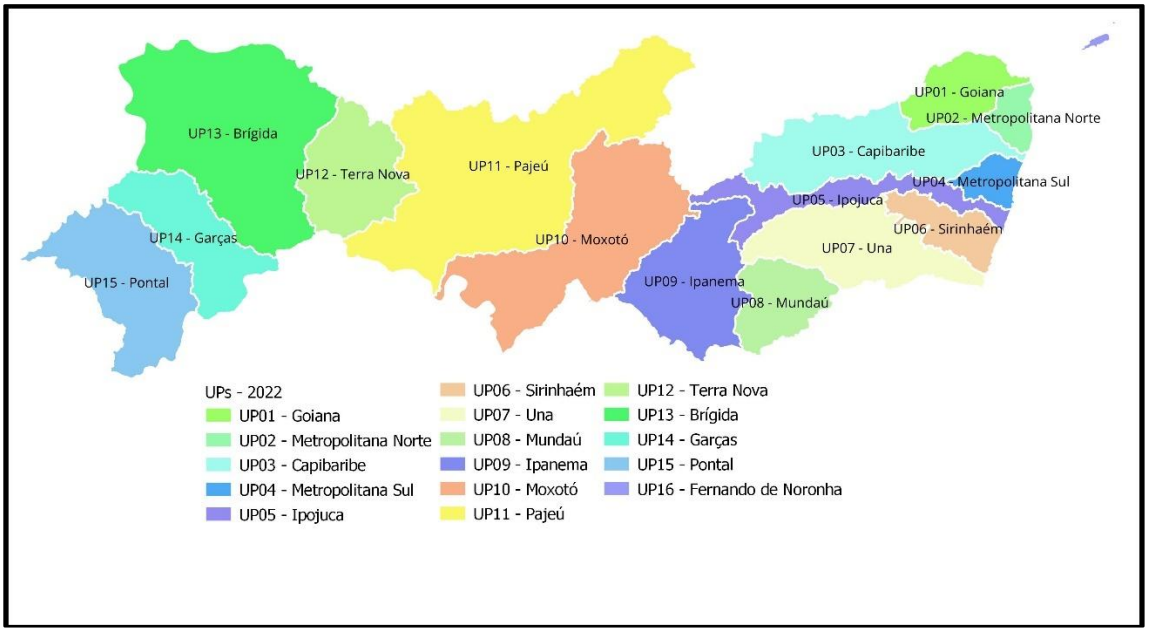


Figura 1: Unidades de Planejamento Hídrico definidas no PERH/P, APAC (2022)

As unidades de planejamentos hídricos foram reformuladas no ano de 2022 para facilitar o diagnóstico, o prognóstico e a proposição de intervenções que fazem parte de um plano qualquer de intervenções. Os critérios para o estabelecimento das novas Unidades de Planejamento se deram por meio das similaridades na hidrogeologia, geologia, uso do solo, rede de adutoras, existência de perímetros irrigados, entre outros (APAC, 2022). Em anos de atuação do El NINO e LA NINA, a região sofre com fortes períodos prolongados de chuva e de estiagem.

Como reforçado pela ANA (2023), mais de 40% da disponibilidade hídrica pode ser extinguida com o aumento das temperaturas e redução dos períodos chuvosos, o que acarretaria a inúmeros problemas políticos e sociais. Exigindo adaptação das medidas de gestão para que sejam mais eficazes. Estudos da Embrapa, APAC com participação da UFPE, monitoram por meio de modelagem a intensificação das mudanças climáticas, presença de seca nos municípios e a influência na dinâmica do período chuvoso no estado, como foi descrito por Kousky e Gan (1981).

Análises recentes, revelaram que a recarga hídrica de bacias no sertão de Pernambuco, como no Sertão do Pajeú e no Moxotó, com base no estudo de Tiburcio (2023), até o ano de 2050 essas áreas e outras demais deveram sofrer com a diminuição acentuada na capacidade de abastecimento dos aquíferos. Esses resultados chamam a atenção para o desenvolvimento de estratégias que sejam cabíveis para a população, como a educação ambienta, proteção de nascentes e o reuso da água.

Conclusão

A realização da análise da gestão dos recursos hídricos em Pernambuco diante das mudanças climáticas revela um cenário desafiador que a população e a governança municipal e estadual enfrentarão na intensificação dos eventos climáticos extremos exige medidas cabíveis e sustentáveis, mesmo com plano estadual e comissões ambientais o estado ainda não consegue dar conta do avanço da escassez hídrica que assola as regiões do interior. Com base nas projeções uma tendência no agravamento é esperada nos próximos 30 anos, por isso a importância na implementação de novas tecnologias e investimento em pesquisas de inovação para buscar entender e achar uma solução para a crise hídrica e novas formas de adaptação.

Agradecimentos

O autor agradece ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento de dados aplicados e imagens de satélites para a elaboração deste artigo.

Referências Bibliográficas

AMBRIZZI, T. et al. **Sumário executivo: mudanças climáticas e segurança alimentar.** PBMC, 2013.

APAC**. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE).** Recife: APAC, 2010.

ANA. **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil.** Brasília: ANA, 2023.

APAC**. Relatório de gestão dos recursos hídricos de Pernambuco.** Recife: APAC, 2019.

ANA. **Monitor de Secas.** (https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=4&ano=2025). Acesso: 15/05/2025

CIRILO, J. A. et al. **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007. 508p

GOMES. **Governança e gestão dos recursos hídricos no estado de Pernambuco.** Okara: Geografia em Debate, v. 17, n. 1, p. 1–20, 2023.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. **Upper tropospheric cyclonic vortex in the subtropical South Atlantic.** Tellus, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

SILVA. **Balanço hídrico e mudanças climáticas no semiárido pernambucano.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1–15, 2021.

TIBURCIO, J. D. et al. **Modelagem hidrológica em cenário de mudanças climáticas no semiárido**. Revista Ambiente & Água, v.18, n.2, 2023.

COLETA DE ÁGUA DE CHUVA DE PAVIMENTOS DRENANTES IMPLANTADOS EM CALÇADÕES DE CENTROS URBANOS E VIABILIDADE DE USO PARA FINS NÃO POTÁVEIS

1Laura Ferreira Machado, 2Liseane Padilha Thives, 3Luciana Rohde
1Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: laura.machado2019.2@gmail.com; 2Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: liseane.thives@ufsc.br; 3Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: l.rohde@ufsc.br

Palavras-chave: pavimentos drenantes, coleta de água, fins não potáveis.

Resumo

O Brasil possui elevada disponibilidade de água doce, porém reservas não são igualmente distribuídas nas regiões do país. Apesar de crescente a atividade de coleta de água de chuva por meio de telhados e posterior uso, a escassez hídrica é uma questão de preocupação mundial. Devido às mudanças climáticas, a redução das reservas de água potável tende a se intensificar. Neste sentido, a coleta de água de chuva a partir de pavimentos drenantes e posterior uso pode ser uma alternativa de sustentabilidade hídrica. Está comprovado que diversas atividades de consumo de água potável como descarga em bacias sanitárias e mictórios, o uso pode ser não potável. Neste trabalho foi avaliada a viabilidade de captação de água de chuva por meio de pavimentos drenantes e uso em banheiros públicos, lavagem de calçadas e rega de jardins. O estudo de caso foi conduzido em áreas de calçadão de Florianópolis, Santa Catarina. Inicialmente realizou-se o levantamento da precipitação local e seleção das áreas de captação. Realizou-se o dimensionamento estrutural e hidráulico do pavimento e dimensionou-se a espessura da camada reservatório de armazenamento temporário. Definiu-se o volume do reservatório inferior a partir de simulações com uso do programa Netuno 4. Como resultado, obteve-se a espessura da camada de reservatório do pavimento de 27 cm para uma estrutura de pavimento composta por revestimento em blocos intertravados de concreto permeável e camadas com elevada capacidade de infiltração e redução da concentração de poluentes da água de escoamento. A área de captação de atendimento à demanda do sistema foi de 2.500 m^2. O volume ideal de reservatório inferior resultou em 40.000 L, considerando-se 75% de substituição de água potável e obteve-se um potencial de economia em até 47,7%. Foi indicada a implantação de seis banheiros autolimpantes e pontos de água na extensão da área de estudo. Os resultados indicaram ser viável a implantação de um sistema de pavimentos drenantes para captação, armazenamento e uso de água de chuva para fins não potáveis proporcionando uma alternativa para contribuir com uma gestão hídrica urbana mais sustentável. A capacidade de infiltração do sistema contribuirá ainda para a redução do volume de escoamento superficial na área pavimentada.

Introdução

A impermeabilização do ambiente urbano promovida pelas edificações e pavimentação das vias, resultou na redução de áreas permeáveis que permitiam a infiltração natural da água de chuva no solo. Assim, devido ao aumento das superfícies impermeáveis, o volume de água de chuva que escoa superficialmente tornou-se significativamente mais elevado, afetando a capacidade dos elementos de drenagem e possibilidade de ocorrência de inundações. Tucci (2012) complementou que as inundações estão diretamente relacionadas ao processo de urbanização. Uma das medidas de controle direto na fonte do tipo estrutural para mitigar o volume de escoamento superficial em áreas urbanas do tipo “na fonte” é o uso de pavimentos drenantes.

Pavimentos drenantes são estruturas que permitem a infiltração da água de chuva por meio de camadas permeáveis (Eisenberg *et. al.*, 2015). Nestas estruturas, parte da água de chuva infiltra e outra parcela escoa (escoamento superficial), cujos volumes dependem da capacidade de infiltração do sistema. A água que infiltra no pavimento atravessa as camadas e pode ser conduzida ao subleito ou coletada na camada de reservatório por meio de tubos de drenagem subterrânea perfurados ou armazenada para posterior uso (Woods Ballard *et al*., 2015).

A estrutura dos pavimentos drenantes, tipo e composição das camadas constituintes depende do dimensionamento estrutural e hidráulico. Em geral, as camadas de revestimento são compostas por mistura asfáltica drenante, concreto de cimento Portland permeável ou blocos intertravados (*pavers*) permeáveis. As demais camadas são compostas por materiais de elevada permeabilidade como areia e agregados pétreos graúdos (Ghisi *et al.*, 2020).

O Brasil é um país com elevada disponibilidade de água doce, mas com diferenças de distribuição e de consumo entre as regiões. No entanto, mesmo em regiões com recursos hídricos em abundância há restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida, sendo que atualmente, a escassez de água não é exclusiva de regiões áridas e semiáridas (CBIC, 2019).

O consumo de água no setor doméstico aumenta proporcionalmente ao nível de urbanização. De acordo com os dados do Sistema Nacional se Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) o consumo médio de água per capita de água no Brasil é de 148,2 L/hab./dia, sendo por região tem-se o seguinte: Norte de 151,2 L/hab./dia, Nordeste de 121,4 L/hab./dia, Centro-oeste de153,5 L/hab./dia, Sudeste de 159,9 L/hab./dia e Sul de 149,8 L/hab./dia. Florianópolis, no estado de Santa Catarina, local do estudo de caso, possui um consumo de 174,3L/hab./dia, superior à média do país e da região Sul.

O consumo de água doméstico difere do observado em prédios comerciais. Ghisi e Ferreira (2007) mediram os usos de água potável em condomínios residenciais e verificaram que, em média, 33,2% era destinado à descarga em bacias sanitárias; 2,8% em

limpeza de calçadas e 64,0% em outras atividades como lavagem de roupas, chuveiros, lavatórios e cocção. Por outro lado, Botelho (2008) verificou que em prédios comerciais, o consumo de água potável foi de 62,0% em descarga em bacias sanitárias; 9,0% em mictórios e 29,0% em lavatórios e bebedouros. O estudo mostrou que o elevado consumo de água potável em bacias sanitárias e mictórios (71,0%) poderia ser substituída por não potável, contribuindo para minimizar a escassez hídrica e proporcionar a economia de água potável. As duas pesquisas foram conduzidas visando o aproveitamento de água de chuva a partir de telhados.

A norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2019) estabelece parâmetros mínimos de qualidade de uso de água de chuva coletada em telhados para fins não potáveis e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2005) classifica em quatro classes, os tipos de água para reuso e os respectivos critérios padrão para a qualidade da água. Para a água de reuso Classe 1, o uso preponderante é em descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Ghisi *et al.* (2020) propuseram uma estrutura de pavimento drenante cuja qualidade da água coletada e filtrada se assemelha à qualidade observada em telhados.

A universalização dos serviços do setor de saneamento dever incluir os espaços públicos e neste cenário se inserem os banheiros públicos que desempenham um papel fundamental na garantia do direito ao saneamento básico em espaços urbanos, contribuindo para a construção de cidades inclusivas e sustentáveis (Moreira *et. al.*, 2022). No Brasil, os banheiros públicos comumente disponíveis à população se localizam no interior de estabelecimentos como *shoppings* e edifícios comerciais e tendem a ser organizados e limpos. No entanto, em locais de grande circulação, com parques, avenidas e praças públicas e quando há banheiros públicos, em geral, a estrutura e a limpeza são precárias, além da falta de acessibilidade (Mendonça, 2022). A norma brasileira NBR 9050 (ABNT, 2015) estabelece as diretrizes de acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, inclusive de banheiros acessíveis. Em Santa Catarina, a Lei Ordinária nº 11.221 (Leis Estaduais, 2025) obriga os municípios a manterem os banheiros públicos em condições adequadas de uso nas áreas centrais das cidades e determina que deve haver um banheiro público por cinquenta mil habitantes.

A aplicação de pavimentos drenantes em áreas urbanas em contribuir para minimizar a escassez hídrica, redução de volumes de escoamento e uso da água captada para fins não potáveis como alternativa motivaram o desenvolvimento deste estudo. Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de captação de água de chuva por meio da implantação de pavimentos drenantes em áreas de calçadão e uso para fins não potáveis em banheiros públicos, lavagem de calçadas e rega de jardins. O estudo de caso foi conduzido em Florianópolis, estado de Santa Catarina.

Metodologia

A metodologia foi desenvolvida em quatro etapas. Na primeira etapa foi estabelecido na área de estudo o local adequado para implantação do pavimento drenante na área central de calçadões em Florianópolis. A cidade ocupa uma área de 674,84 km² (porção insular e continental) e população estimada de 537.211 habitantes (IBGE, 2023). A área de estudo compreende o calçadão da Rua Felipe Schmidt (Figura 1a) desde a interseção com a Rua Álvaro de Carvalho até a Praça XV de Novembro (Figura 1b), com destaque em vermelho.



(a) Vista do calçadão (b) Local de implantação

Figura 1: Delimitação da área de estudo.

Na segunda etapa, foi realizado o levantamento do histórico das precipitações diárias num período de 10 anos, de 01/01/2014 a 31/12/2023 junto à página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na terceira etapa, inicialmente foi realizado o dimensionamento estrutural para estabelecimento da espessura total da estrutura do pavimento. Para minimizar a ocorrência de ilhas de calor urbano e redução do volume de escoamento, foi escolhido como camada de revestimento, blocos intertravados de concreto permeável e o dimensionamento estrutural da estrutura seguiu a Instrução de Projeto IP – 06 (PMSP, 2024). Considerando a proposta de reuso de água chuva, foram escolhidos os materiais e espessuras das camadas drenantes de acordo com a pesquisa de Ghisi *et al.* (2020), que comprovaram elevada capacidade de infiltração (80%) e redução da concentração de poluentes da água de escoamento. A espessura da camada reservatório de armazenamento temporário de água foi dimensionada por meio da Equação 1.

$$H = \frac{t(R \times i - q)}{n} \quad (1)$$

Onde: H é a espessura da camada (mm); i é a intensidade da chuva de projeto correspondente ao período de retorno e duração escolhidos (mm/h); t é a duração da chuva de projeto (h); R é a razão entre a área drenada (pavimento permeável e áreas impermeáveis que contribuem com o escoamento superficial) e a área do pavimento permeável; q é a condutividade hidráulica do solo do subleito (mm/h); N é o volume de vazios da camada de reservatório temporário (%).

A razão entre área drenada e área do pavimento, foi estimada com auxílio do *software* Google Earth® conforme Figura 1b e calculada por meio da Equação 2. Para determinar a intensidade da chuva de projeto, inicialmente foi estabelecido o tempo de retorno, o qual foi de 10 anos, recomendado para obras de micro e macrodrenagem. A intensidade da chuva foi calculada a partir da equação de Back (2013) com base em dados pluviométricos coletados entre 1969 e 2009 para as condições da região de Florianópolis, conforme Equação 3. O pavimento proposto consiste na minimização ou ausência de infiltração de água no solo de fundação, e assim, a taxa de infiltração no subleito (q) foi considerada zero. A vazão de esvaziamento da camada de reservatório temporário foi calculada por meio da Equação 4 desenvolvida por Baptista *et al.* (2011).

$$R = \frac{A_d}{A_t} \quad (2)$$

Onde: R é a razão entre área drenada e área do pavimento (adimensional); A_d é a área drenada (m²); A_t é a área total (m²).

$$i = \frac{1168{,}64 * TR^{0{,}237}}{(t+9{,}12)^{0{,}703}} \quad (3)$$

Onde: i é a intensidade da chuva (mm/h); TR é o Tempo de retorno (anos); t é a duração da chuva (min), sendo $5 \leq t \leq 120$ min.

$$q_s = \frac{A_t * h}{A_d * 24} \quad (4)$$

Onde: qs é a vazão de esvaziamento da camada de reservatório temporária (m/h); A_t é a área total (m²); A_d é a área drenada (m²); h é a altura da lâmina d'água gerada pela precipitação (mm).

A água coletada pelo pavimento permanece temporariamente armazenada na camada armazenamento e após é conduzida a um reservatório inferior, cujo volume foi dimensionado na terceira etapa. O volume do reservatório foi obtido por meio de simulações no Programa Netuno 4 (Ghisi e Cordova, 2014) que também estima do potencial de economia de água potável. Nas simulações foram adotadas as seguintes áreas de captação (Figura 1b): 1.500 m² (Área 1), 2.000 m² (Área 2), 2.500 m² (Área 3), 3.000 m² (Área 4), 3.500 m² (Área 5). Foram simulados volumes de reservatório inferior de zero a 100.000 L em intervalos de 5.000 L. Como o principal uso da água coletada se destina a banheiros públicos, conforme Tomaz (2000), adotou-se o consumo de 19 L/dia/usuário e o percentual de substituição de água potável de 75% avaliada por Botelho (2008). O número de usuários dos banheiros públicos situados nas proximidades da Praça XV de Novembro foi estimado em 600 por dia por meio de consulta aos dados da empresa que administra o local. Na quarta etapa foram estabelecidos os seguintes locais: reservatório inferior, banheiros públicos e pontos de água.

Resultados

Dados pluviométricos

A precipitação média de 10 anos em Florianópolis (Figura 2) comprova a ocorrência de índices pluviométricos elevados, sendo que nos meses de verão (janeiro, fevereiro e março), outubro e dezembro tem-se precipitações mais elevadas.

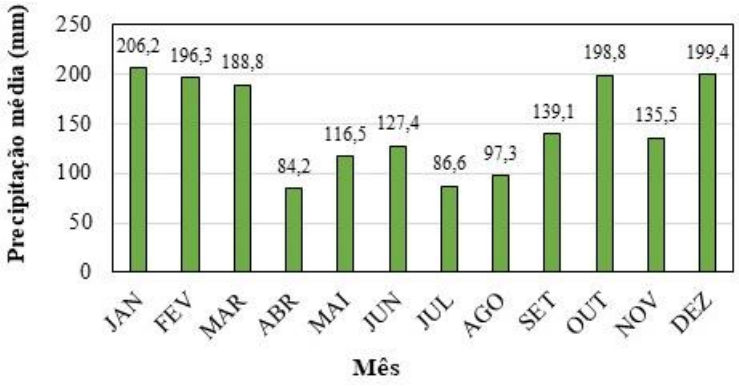
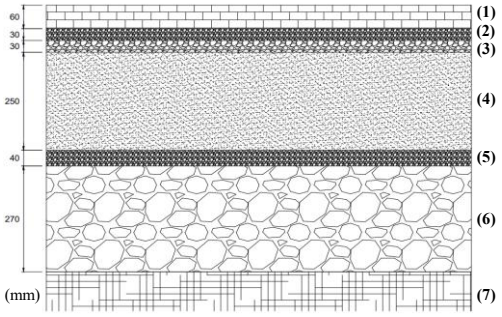


Figura 2: Precipitação média mensal entre 2014 e 2023.

Dimensionamento do pavimento drenante

Para a condição de tráfego leve (número de eixos equivalentes ao eixo padrão de 100 kN; N de 10^5) e capacidade de suporte do solo de fundação (CBR de 6%), a espessura total da estrutura requerida é de 35 cm. Sendo um calçadão, cujo tráfego pode ser considerado leve, uma vez que apenas circulam, eventualmente, veículos de passeio da guarda municipal e caminhões no período noturno para abastecimento do comércio local, a espessura requerida dos blocos é de 6,0 cm. No entanto, a função do pavimento drenante neste estudo é de captação de água, cujo modelo adotado para as camadas drenantes foi o desenvolvido por Ghisi *et al.*

(2020) e camada de revestimento em bloco intertravado permeável. A chuva de projeto considerada neste estudo foi baseada em um período de retorno de 10 anos, com duração de 120 minutos, resultando em uma intensidade de 66,16 mm/h e uma altura de precipitação de 132,3 mm. Considerando que a área drenada é igual à área total, a razão foi assumida como 1. A vazão de esvaziamento da camada de reservatório foi estimada em 5,513 m³/h e o volume de vazios foi adotado como 45%. A espessura da camada de reservatório foi calculada pela Equação 1, que resultou em 27,0 cm, sendo este o valor mínimo necessário para que a camada desempenhe adequadamente a função de armazenar temporariamente a água infiltrada. A Figura 3 apresenta a seção transversal do modelo do pavimento drenante a ser implantado na área e captação.



Descrição dos materiais das camadas
(1) Revestimento – Bloco intertravado permeável;
(2) Camada de assentamento – areia– tamanho nominal máximo de 4,0 mm (Ghisi *et al.* (2020);
(3) Camada de transição – agregado pétreo graúdo – brita com tamanho nominal máximo de 19 mm (Ghisi *et al.* (2020);
(4) Camada filtrante– areia comercial grossa – tamanho nominal máximo de 4,8 mm (Ghisi *et al.* (2020);
(5) Camada separadora – agregado pétreo graúdo – brita com tamanho nominal máximo de 9,5 mm (Ghisi *et al.* (2020);
(6) Camada reservatório (*reservoir course*) - agregado pétreo graúdo – brita com tamanho nominal máximo de 37,5 mm;
(7) Subleito – solo de fundação com CBR = 6%.

Figura 3: Estrutura do pavimento drenante.

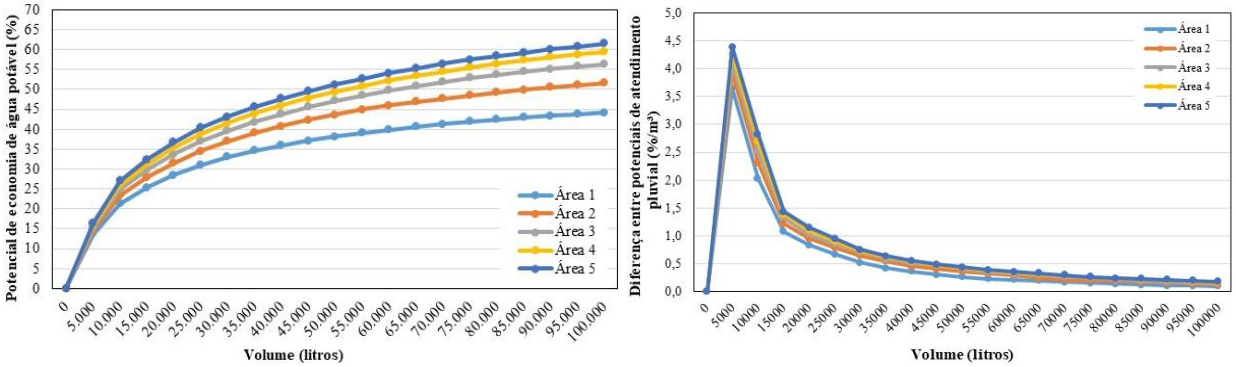
Dimensionamento do reservatório

Os dados de entrada para as simulações realizadas no programa Netuno 4 são apresentados na Tabela 1. Após as simulações, para cada área de captação e variações dos volumes do reservatório, foram obtidos o potencial de economia de água potável (Figura 4a) e a diferença entre potenciais de atendimento pluvial (Figura 4b). Na Figura 4a pode-se observar que, comparativamente, a área de captação com 3.500 m^2 (Área 5) apresentou maior potencial de economia de água (47,7%). Para todas, houve uma tendência de aumento do potencial de economia até determinado volume, e quando superior a 50.000 L, não foi significativo. Adotou-se o volume de 40.000 L, no ponto de inflexão das curvas. A análise da Figura 4b, que representa a variação percentual da eficiência de atendimento das demandas por água não potável entre as áreas, mostrou que para o volume de 40.000 L, as diferenças nos potenciais de atendimento de água pluvial resultaram em 0,37% (Área 1), 0,46%, (Área 2), 0,52% (Área 3), 0,54%(Área 4) e 0,56%(Área 5). Os resultados das simulações no programa Netuno 4 forneceram ainda o volume extravasado de água (Figura 5), que indica a possibilidade de desperdício da água captada e indicou que para o sistema, a Área 3 (2.500 m^2) se mostrou a mais adequada para o sistema.

Tabela 1 – Dados de entrada do programa Netuno 4.

Entradas	Valores	Fonte
Precipitação	Variável	Figura 2
Descarte inicial	0 mm	-
Área de captação	Variável	1.500 m^2 a 3.500 m^2
Demanda total de água	19 L/dia/usuário	Tomaz (2000)
Número de moradores	600	-
Percentual de substituição de água potável	75%	Botelho (2008)
Coeficiente de escoamento superficial	0,800	Ghisi *et al.* (2000)
Volume máximo reservatório	100.000 L	-
Intervalo entre volumes	5.000 L	-

Fonte: Elaborado pelos autores



(a) Potencial de economia de água potável (b) Diferença entre potenciais de atendimento pluvial

Figura 4: Comparativos em função das áreas de captação.

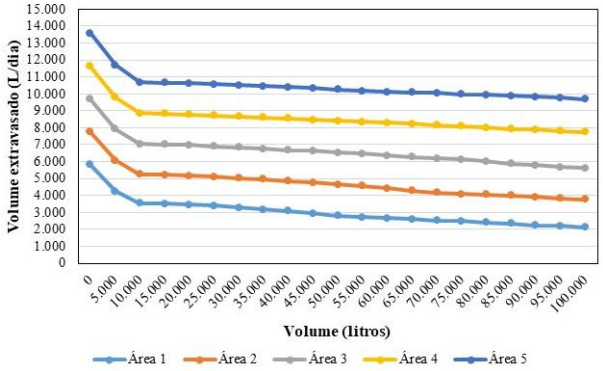


Figura 5: Volume de água extravasado para as diferentes áreas de captação.

Posição do sistema e usos para finas não potáveis

A escolha do local de implantação do reservatório se baseou na atual posição de banheiros públicos existentes na área de estudo. O estudo propõe banheiros autolimpantes, cuja implantação obteve sucesso em outros locais da cidade e, de acordo com os fabricantes, o abastecimento necessita de apenas um ponto de água. Os banheiros públicos existentes no entorno da Praça XV de Novembro são de grande importância devido à localização numa área com intenso fluxo de pedestres e turistas. No entanto, há problemas de manutenção e limpeza e o serviço é terceirizado. A opção por banheiros autolimpantes pode ser justificada por serem adequados na gestão de espaços públicos com soluções práticas e eficientes para a manutenção da higiene e contam com equipamentos de acessibilidade. Esses banheiros possuem mecanismos automatizados, de forma que após cada uso, se inicia um novo ciclo de limpeza que inclui a lavagem do piso, a higienização do vaso sanitário e a secagem do ambiente, garantindo que o próximo usuário encontre o local em condições adequadas. Para a demanda local, indicou-se a quantidade de seis banheiros.

O sistema proposto foi projetado de forma que a água captada e armazenada no reservatório seja bombeada ao ponto de entrada dos banheiros e utilizada para descarga de bacias sanitárias, mictórios e limpeza. Outro ponto de água (potável) proveniente do abastecimento púbico abastecerá os lavatórios. Considerou-se ainda a implantação e instalação de pontos de torneiras em locais específicos, cuja água coletada do pavimento servirá para limpeza do calçadão e irrigação das áreas verdes da praça e canteiros, de uso exclusivo da prefeitura municipal. De acordo com Ghisi *et al.* (2020), considerando os contaminantes da água de escoamento da região, a estrutura do pavimento foi capaz de reduzir as concentrações e a necessidade de tratamento adicional para fins não potáveis pode ser realizada por cloração. A Figura 6 mostra o *layout* da proposta do estudo com indicação do posicionamento do reservatório, banheiros, a áreas de coleta, a posição dos pontos de torneiras para limpeza dos calçadões e rega de jardins.

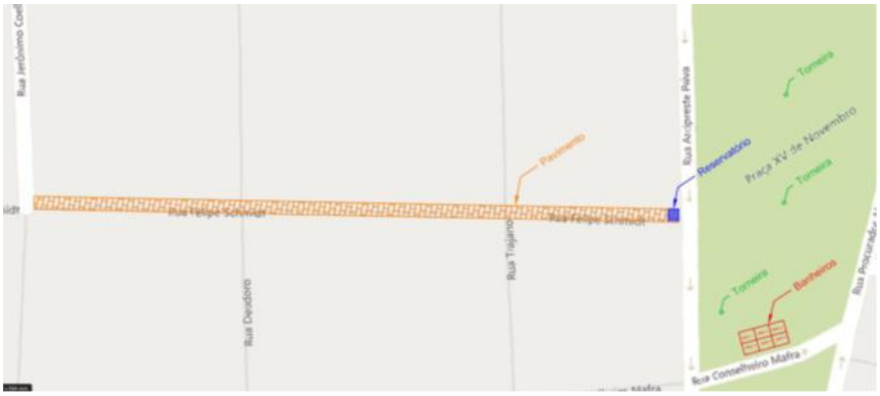


Figura 6: *Layout* do sistema.

Conclusões

Este estudo analisou a viabilidade da implantação de pavimentos drenantes com a finalidade de captar e reutilizar a água da chuva para fins não potáveis. Foi proposta a estrutura do pavimento de Ghisi *et al.* (2020), na qual a camada de reservatório temporária foi dimensionada em função da precipitação da região de Florianópolis. Nas simulações realizadas no programa Netuno 4 foram estabelecidos o volume do reservatório necessário, que resultou em 40.000 litros, proporcionando um potencial de economia de água potável de até 47,7% numa área de captação de 2.500 m^2. O volume calculado permite atender o abastecimento as bacias sanitárias e limpeza de seis banheiros públicos autolimpantes considerando 600 usuários por dia, resultando na substituição de 75% do consumo de água potável. Adicionalmente, o volume de água de chuva captado é suficiente para limpeza de calçadas e rega de jardins. Através do estudo, espera-se que o sistema proposto seja considerado como uma alternativa de economia de água potável e esteja alinhado às práticas do desenvolvimento sustentável gerando impactos positivos para a gestão hídrica. Os sistemas de pavimentação drenante e uso de água coletada pode ser aplicado em outras áreas urbanas, como parques e ainda, a capacidade de infiltração promoverá a redução dos volumes de escoamento pela capacidade de infiltração. Este estudo apresenta limitações e o sistema proposto necessita ser aplicado em seções de teste para validação dos resultados obtidos.

Referências Bibliográficas

ANA. Conservação e Reuso da água em Edificações. Agência Nacional de Águas, 2005. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/municipioverdeazul/2011/11/ManualConservacaoReusoAguaEdificacoes.pdf. Acesso em: 12 de mar. de 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR 15227: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

BACK, Á.J., 2013. Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina. EPAGRI, Florianópolis, SC.

Baptista, M.B.; Nascimento, N.O.; Barraud, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 2. ed. São Paulo: ABRH, 2011.

Botelho, A.N., 2008. Estimativa dos usos finais de água potável na Universidade Federal de Santa Catarina. Relatório de iniciação cientifica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia Orientativo das Normas de Conservação de Água, Fontes Alternativas Não Potáveis e Aproveitamento de Água de Chuva em Edificações. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. CBIC. 2019. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Guia_Orientativo_Normas_de_Conservacao_de_Agua.pdf. Acesso em: 03 de abr. de 2025.

Eisenberg, B.; Lindow, K.C.; Smith, D.R. Permeable pavements. Reston: American Society for Testing and Materials. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados históricos anuais. INMET. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos. Acesso em: 03 de fev. de 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Florianópolis. IBGE, 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama. Acesso em: 16 de mai. de 2025.

Ghisi, E.; Ferreira, D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. Building and Environment, v. 42, p. 2512-2522. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019

Ghisi, E.; Cordova, M.F., 2017. Programa Netuno 4. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/softwares/netuno. Acesso em: 10 de dez. de 2024.

Ghisi, E.; Belotto, T.; Thives, L.P., 2020. The Use of Permeable Interlocking Concrete Pavement to Filter Stormwater for Non-Potable Uses in Buildings. Water, 12, 2045. https://doi.org/10.3390/w12072045

LEIS ESTADUAIS. Lei Ordinária Nº 11221, de 17 de novembro de 1999. Disponível em: https://leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-11221-1999-santa-catarina-estabelece-a-obrigatoriedade-para-os-municipios-de-manterem-banheiros-publicos-em-condicoes-de-uso-nas-areas-centrais-das-cidades#:~:text=ESTABELECE%20A%20OBRIGATORIEDADE%20PARA%20OS,NAS%20%C3%81REAS%20CENTRAIS%20DAS%20CIDADES. Acesso em: 06 de mar. de 2025.

Mendonça, T.T.P., 2022. Cidade para todos ou cidade para poucos: Discussão sobre a gestão dos banheiros públicos na perspectiva do design. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Moreira, F. D., 2022. Banheiros públicos: O direito esquecido na universalização do saneamento. Disponível em: https://ondasbrasil.org/banheiros-publicos-o-direitoesquecido-na-universalizacao-do-saneamento/

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Instrução de Projeto IP – 06: Dimensionamento de pavimentos em blocos intertravados de concreto. São Paulo, 2004.

SNIS. Painel de indicadores – Ano Base 2022. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2022. Disponível em: https://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-agua. Acesso em: 18 de mai. de 2025.

Tomaz, P. Previsão de consumo de água. 1. ed. São Paulo: Navegar, 2000.

Tucci, C.E.M. Gestão da drenagem urbana. 1. ed. Brasília: IPEA, 2012.

Woods Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashley, R.; Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual. Construction Industry Research and Information Association. Disponível em: https://www.ciria.org/CIRIA/CIRIA/Item_Detail.aspx?iProductCode=C753. Acesso em: 07 de mai. de 2025.

PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: APLICABILIDADE NO SETOR HÍDRICO

1José Wellington Jucá de Queiroz Fernandes, 2Salomão Augusto de Moura Júnior, 3Rodrigo Rodrigues Silva

1Universidade Federal do Ceará, e-mail: wellingtonqueiroz225@gmail.com; 2Universidade Federal do Ceará, e-mail: salomao_jr88@hotmail.com; 3Universidade Federal de Roraima, e-mail: rodrigo.silva@ufrr.br

Palavras-chave: Pagamentos por serviços ambientais; recursos hídricos; gestão sustentável.

Resumo

Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) é um mecanismo que recompensa financeiramente proprietários de terras ou comunidades que adotam práticas de manejo que preservam a qualidade da água e os ecossistemas. No Brasil, iniciativas como o "Produtor de Água", promovido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), têm sido implementadas para estimular ações como restauração florestal e manejo sustentável do solo. O programa "Conservador das Águas" em Extrema, Minas Gerais, é um exemplo de sucesso, onde proprietários rurais são remunerados pela conservação de suas propriedades, contribuindo para a melhoria dos recursos hídricos. Apesar do potencial do PSA, o Brasil enfrenta desafios, como a falta de padronização nos métodos de monitoramento e a necessidade de um marco regulatório federal. Para que o PSA atinja seu máximo potencial, é necessário superar esses desafios, garantindo financiamento a longo prazo e um sistema de monitoramento eficaz. A continuidade de pesquisas é essencial para avaliar e melhorar os projetos de PSA, assegurando sua eficiência na conservação ambiental e no desenvolvimento sustentável.

Abstract

Payments for Environmental Services (PES) is a mechanism that financially rewards landowners or communities who adopt management practices that preserve water quality and ecosystems. In Brazil, initiatives such as the “Water Producer”, promoted by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), have been implemented to encourage actions such as forest restoration and sustainable soil management. The “Conservador das Águas” program in Extrema, Minas Gerais, is a successful example, where rural landowners are compensated for conserving their properties, contributing to the improvement of water resources. Despite the potential of PES, Brazil faces challenges such as the lack of standardization in monitoring methods and the need for a federal regulatory framework. For PES to reach its maximum potential, it is necessary to overcome these challenges by ensuring long-term financing and an effective monitoring system. Continued research is essential to evaluate and improve PES projects, ensuring their effectiveness in environmental conservation and sustainable development.

Introdução

Os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) está inserido como mecanismo de incentivo na Lei 12651 (Lei de proteção a vegetação nativa), conhecida também como Código Florestal. No seu artigo 41 onde afirma que pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais, tais como, isolada ou cumulativamente (Lei 12651 – Lei de proteção a vegetação nativa, 2012).

Também, os PSA estão inseridos na Política Nacional do Meio Ambiente, como instrumento econômico, no inciso XIII, assim como a concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros. Portanto, os PSA têm um arcabouço jurídico legal para sua implantação e ajuda na melhoria da qualidade dos recursos naturais.

Os PSA representam uma abordagem inovadora e eficaz para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais. No contexto do setor hídrico, o PSA visa recompensar financeiramente proprietários de terras ou comunidades que realizam práticas de manejo que promovem a preservação e a qualidade dos recursos hídricos. Essa estratégia reconhece e valoriza os serviços ecossistêmicos fornecidos por ambientes bem conservados, como a regulação do ciclo hidrológico, a proteção de nascentes, a recarga de aquíferos e a redução da sedimentação em corpos d’água.

No Brasil, a implementação de PSA no setor hídrico tem ganhado destaque em iniciativas como o "Produtor de Água", promovido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Esses programas buscam estimular ações como a restauração florestal, o manejo sustentável do solo e a redução do desmatamento, contribuindo diretamente para a segurança hídrica e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Além disso, o PSA oferece uma oportunidade de alinhamento entre os interesses ambientais e econômicos, promovendo o desenvolvimento sustentável das comunidades envolvidas.

A crescente demanda por água de qualidade, combinada com os desafios impostos pela degradação ambiental e a escassez hídrica, reforça a importância dos PSA como uma ferramenta estratégica para a gestão integrada dos recursos hídricos, beneficiando tanto o meio ambiente quanto a sociedade.

PSA e importância ambiental e social

PSA é um mecanismo que estabelece pagamentos entre os beneficiários dos serviços ambientais e os provedores desses serviços, que geralmente são proprietários de terras ou comunidades que adotam práticas de conservação.

Os ecossistemas são complexos e dinâmicos, compostos por seres vivos e não vivos que interagem como uma unidade funcional. As funções ecossistêmicas são os processos naturais que mantêm a vida, como a regulação do clima e do ciclo da água. Os serviços ecossistêmicos são os benefícios que os humanos obtêm desses processos, incluindo o fornecimento de água, alimentos e a regulação de doenças.

Os pagamentos para a proteção dos recursos hídricos são de suma importância para a qualidade das águas, visto que estas estão sendo poluídas indiscriminadamente, em vários setores, como o agrícola, com a utilização de pesticidas químicos, na indústria com a dispersão de poluentes químicos não biodegradáveis nos rios, e também o esgotamento sanitário domiciliar, visto que várias cidades não dispõem de tratamento de esgoto.

No Brasil, a redução das florestas tropicais, especialmente em biomas como a Mata Atlântica e o Cerrado, tem comprometido os serviços ecossistêmicos relacionados à água. A implementação de projetos de PSA no setor hídrico tem crescido, visando a restauração florestal e a melhoria da qualidade e quantidade de água.

Apesar do potencial do PSA, o Brasil enfrenta desafios como a falta de padronização de métodos de monitoramento e a necessidade de um sistema de monitoramento que aborde os ecossistemas como sistemas socioecológicos complexos. Há uma lacuna no monitoramento dos benefícios dos PSA hídricos implementados.

Programa de sucesso: Extrema-MG

O município de Extrema, em Minas Gerais, desenvolveu o programa Conservador das Águas, considerado pioneiro no pagamento por serviços ambientais no setor hídrico. O programa remunera proprietários rurais pela conservação de suas propriedades, visando à melhoria dos recursos hídricos.

O programa foi criado devido à preocupação do governo municipal com a gestão dos recursos hídricos, e foi impulsionado pela iminente escassez de água na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). O projeto teve o apoio de diversos parceiros, incluindo a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG), o Comitê da Bacia do PCJ, a SABESP e ONGs como a TNC e SOS Mata Atlântica.

O Programa Conservador das Águas, implementado no município de Extrema, Minas Gerais, que é um exemplo pioneiro de pagamento por serviços ambientais (PSA) voltado para a conservação dos recursos hídricos. O programa foi desenvolvido em um contexto de continuidade política, com a colaboração de gestões que compartilharam ideais e objetivos comuns, permitindo a construção de políticas públicas de longo prazo.

O estudo destaca a importância do governo local e do fortalecimento institucional da prefeitura na liderança das ações ambientais. A prefeitura de Extrema assumiu um papel central na execução do projeto, que inclui a responsabilidade pela manutenção e pagamento aos produtores rurais que adotam práticas conservacionistas. O diagnóstico ambiental realizado em 2001, que mapeou as condições das sub-bacias, foi fundamental para a implementação do programa.

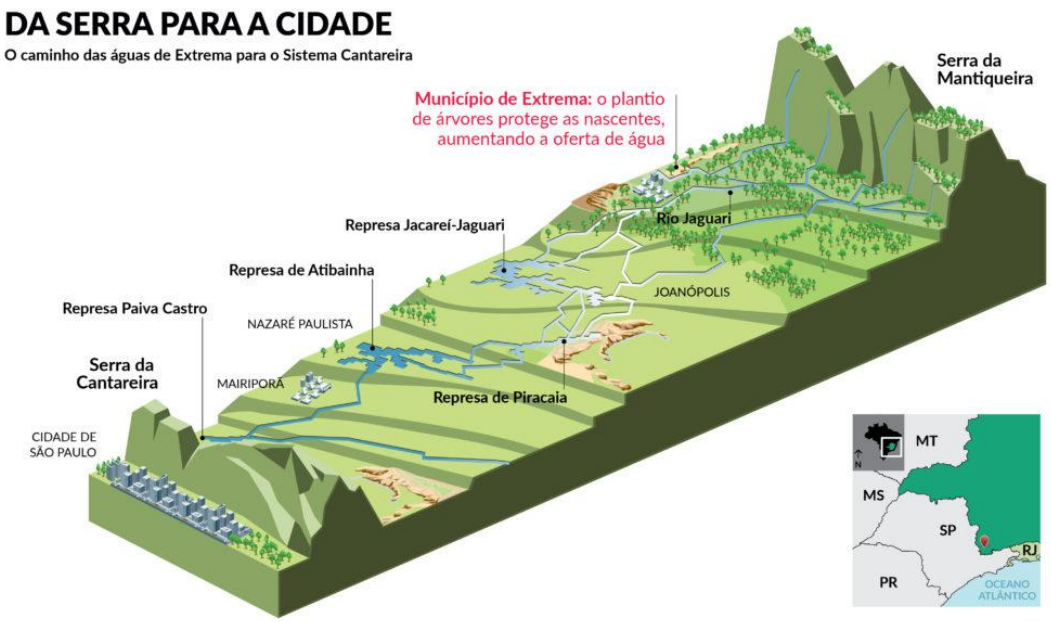


Figura 1 – Vista aérea da topografia, vegetação e recursos hídricos da cidade de Extrema – MG.

Os resultados do programa Conservador das Águas são considerados positivos, embora a quantificação dos benefícios ambientais ainda seja um desafio. O artigo enfatiza que a eficácia do PSA depende de fatores como a continuidade política, o contexto regional, a consolidação de comitês de bacia e a adaptação das estratégias às condições locais. Além disso, o estudo sugere que a escassez de água nas áreas urbanas pode ser um fator motivador para priorizar a implementação de programas de PSA, promovendo a sustentabilidade econômica e ambiental.

Em suma, o Programa Conservador das Águas em Extrema representa uma experiência valiosa na gestão de recursos hídricos, com potencial para servir de modelo para outras iniciativas no Brasil, ao integrar conservação ambiental e desenvolvimento rural.

Evolução e desafios

O mercado de PSA no Brasil tem crescido, com iniciativas em diversas regiões do país, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. A maioria dos projetos está localizada em propriedades privadas, com foco na conservação de remanescentes florestais. Nas regiões Norte e Nordeste quase não existem PSA, é preciso fortalecer a proteção ambiental em todas as regiões do país, tanto na Amazônia por ser um bioma importante a nível mundial devido sua contribuição benéfica para a natureza, como na caatinga, onde existem regiões de desertificação, que é um perigo para a degradação do solo, torando impróprio para o cultivo.

Os principais desafios incluem a falta de um marco regulatório federal que estruture um sistema de PSA com segurança jurídica. As iniciativas de PSA da água são mais localizadas, com cada projeto dependendo da especificidade da demanda pelos serviços hídricos. A falta de padronização, as incertezas sobre a continuidade dos pagamentos e os altos custos de transação também são obstáculos ao desenvolvimento do mercado de PSA.

Conclusões

O Pagamento por Serviços Ambientais constitui um instrumento eficaz para integrar conservação ambiental, segurança hídrica e desenvolvimento socioeconômico. As evidências, especialmente do Programa Conservador das Águas, demonstram que os PSA geram benefícios concretos tanto ambientais quanto sociais.

Contudo, sua consolidação como política pública nacional ainda enfrenta desafios relacionados à segurança jurídica, sustentabilidade financeira e capacidade técnica de monitoramento. A superação desses entraves exige esforços coordenados entre governos, setor privado, organizações da sociedade civil e a comunidade científica.

Diante dos crescentes desafios ambientais e da pressão sobre os recursos hídricos, os PSA se apresentam como uma das ferramentas mais promissoras para a construção de uma economia mais sustentável, resiliente e inclusiva. O PSA no setor hídrico apresenta um grande potencial para a conservação dos recursos naturais, o desenvolvimento rural sustentável e a garantia do acesso à água para as futuras gerações. No entanto, para que o PSA atinja seu potencial máximo, é necessário superar os desafios existentes, como a falta de padronização no monitoramento, a necessidade de um marco regulatório federal, e a garantia de financiamento a longo prazo.

O sucesso do projeto em Extrema-MG demonstra que é possível obter resultados positivos quando há um forte engajamento do governo local, a participação de diversos atores e um planejamento cuidadoso e adaptado às condições locais. É essencial que pesquisas continuem a ser realizadas para avaliar os resultados práticos dos projetos de PSA, adaptando e melhorando suas bases estratégicas para assegurar a continuidade e a eficiência desses importantes mecanismos de conservação ambiental.

Os PSA são ferramentas valiosas para a gestão de recursos hídricos, mas sua eficácia depende de um design cuidadoso e de uma compreensão profunda dos contextos institucionais locais. A implementação bem-sucedida requer a adaptação dos projetos de PSA a uma variedade de contextos institucionais existentes, garantindo que os incentivos positivos e a condicionalidade sejam aplicados de forma eficaz.

Por fim, é preciso ampliar o PSA para o Norte e Nordeste, pois biomas como a Mata Atlântica, a Floresta Amazônica e a Caatinga são de fundamental importância para seus ecossistemas e a preservação dos seus recursos hídricos ajuda a manter as florestas e seres vivos em ambiente saudável ecologicamente e ambientalmente sustentável para as futuras gerações usufruírem e manter um habitat de vida saudável.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao professor orientador Rodrigo Rodrigues Silva, a Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús e o Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Programa Produtor de Água. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua. Acesso em: 20 de maio de 2025.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 16509, 02 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 20 de maio de 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 21 de maio de 2025.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 14 jan. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14119.htm. Acesso em: 20 de maio de 2025.

CARVALHO, E. D.; FERREIRA, L. V. Pagamentos por Serviços Ambientais: desafios e oportunidades para a conservação ambiental no Brasil. Revista de Estudos Ambientais, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 73-89, 2017. Disponível em: https://revistas.feevale.br/seer/index.php/revistadeestudosambientais/article/view/654. Acesso em: 22 de maio de 2025.

CUNHA, D. A.; CALIJURI, M. L.; CAMPOS, J. C. G.; NASCIMENTO, N. O. Impactos de práticas conservacionistas sobre a qualidade e quantidade de água em microbacias. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 785-798, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/xyz. Acesso em: 21 de maio de 2025.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MEA. Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. Ecological Economics, Amsterdam, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006.

PAGIOLA, S.; LANDELL-MILLS, N.; BISHOP, J. Market-based mechanisms for forest conservation and development. London: Earthscan, 2007. 320 p.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H.; TAFFAREL, G. Pagamentos por serviços ambientais na prática: lições aprendidas no Brasil. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo; Banco Mundial, 2013. 122 p.

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, H. S.; MELO, C. R. O papel dos pagamentos por serviços ambientais na conservação de recursos hídricos: estudo de caso no município de Extrema-MG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 24, e29, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbrh/a/xyz. Acesso em: 22 de maio de 2025.

SANTOS, R. F.; HERNANDEZ, F. M. Serviços Ambientais: estratégia para conservar recursos naturais. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 264 p.

TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity. TEEB for water and wetlands: highlighting the values of ecosystems for water management. Geneva: TEEB, 2013. Disponível em: https://www.teebweb.org/publication/teeb-for-water-and-wetlands/. Acesso em: 23 de maio de 2025.

TNC – THE NATURE CONSERVANCY. Oportunidades para Pagamento por Serviços Ambientais na proteção de mananciais no Brasil. Brasília, DF: TNC, 2016. Disponível em: https://www.tnc.org.br/content/brasil/psa-mananciais. Acesso em: 23 maio 2025.

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Jakarta: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2005. (CIFOR Occasional Paper, n. 42). Disponível em: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2025.

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE IVINHEMA, MATO GROSSO DO SUL

1Naiara Lima Costa
1Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Unesp, naiara.costa@unesp.br

Palavras-chave: Evapotranspiração; Penman-Monteith; Gestão Hídrica.

Introdução

A combinação entre os processos de transferência de água para a atmosfera por meio da evaporação do meio circundante e por transpiração das plantas é denominada evapotranspiração (Pereira et. al., 2007; Rodrigues, 2012). A evapotranspiração é um dos principais parâmetros do ciclo hidrológico (Assis et al., 2023). Dentre os fatores de influência para tal variação cita-se: latitude, longitude, altitude, ambiente e condições específicas de cada região (Abtew; Melesse, 2013).

A quantificação da evapotranspiração é feita por meio de sistemas que requerem técnicas e princípios relativamente complexos. Sua medição inclui uma gama de métodos que vão desde a amostragem da água do solo por meio de lisímetros até a covariância de vórtices por cintilometria (Rocha et al., 2023; Pellison et al., 2023). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), inúmeros métodos, mais ou menos empíricos, baseados em diferentes variáveis climáticas, foram desenvolvidos objetivando a estimativa da evapotranspiração. No entanto, a equação Penman-Monteith é considerada uma representação simples e próxima dos fatores que regem o processo de evapotranspiração e, por esse motivo, é tida como método recomendado pela organização para a estimativa.

A estimativa adequada da evapotranspiração de referência (ETo) é um parâmetro essencialmente importante na agricultura e em estudos hidrológicos, bem como, na gestão da bacia hidrográfica e dos recursos hídricos (Raziei; Pereira, 2013; Gonçalves et al., 2021). De acordo com Carvalho et. al. (2015) apesar da forma direta mais precisa para a estimativa do balanço hídrico serem os lisímetros (método direto), em virtude das limitações associadas ao método, o uso de modelos físico-matemáticos tem se tornado uma alternativa prática para a estimativa da ETo. Não obstante, apesar da disponibilidade de diversos modelos para essa estimativa, é de fundamental importância que o grau de exatidão desses modelos seja avaliado, uma vez que estes foram inicialmente propostos com condições climáticas e agronômicas específicas (Oliveira et. al., 2001).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou a avaliação do desempenho de cinco métodos empíricos para a estimativa da ETo no município de Ivinhema, no Estado do Mato Grosso do Sul, cidade com importância agrícola para o Estado.

Material e Métodos

O presente trabalho foi produzido através da utilização dos dados meteorológicos da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidos no período de 01 de janeiro de 2024 a 31 dezembro de 2024, auxiliados pelos dados da Embrapa (Estação Ivinhema) para o mesmo período, uma vez que, algumas informações disponibilizadas pelo INMET apresentaram intervalos com ausência de dados. Os dados são horários (24 informações horárias para cada um dos parâmetros disponibilizados).

O município estudado, Ivinhema-MS, possui as coordenadas geográficas 22°18'50"S, 53°49'03"W e altitude média de 360 m acima do nível mar, sendo que o seu território possui características do bioma Mata Atlântica. Avaliou-se valores diários da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em mm dia^{-1}, fazendo uso de modelos empíricos e o de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO, como modelo de referência para fins comparativos. A ETo, para cada um dos métodos empíricos, foi calculada fazendo uso das médias diárias para os parâmetros em interesse.

Método de referência

Método de Penman-Monteith FAO-56 (PM)

A equação de Pneman-Monteith surgiu como combinação entre métodos de balanço de energia e transferência de massa, visando a mensuração da evaporação de uma superfície de água aberta mediante dados climatológicos. Posteriormente foram inseridas na equação o entendimento proveniente das equações da resistência aerodinâmica (r_a) e resistência da superfície (r_s). O método é recomendado pela FAO (Allen et al., 1998):

$$ETo_{(PM)} = \frac{0{,}408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900 \cdot U_2}{T + 273}\right) \cdot (es - ea)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0{,}34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

Onde: $ETo_{(PM)}$ = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1}; Δ = declinação da curva de saturação do vapor da água; Rn = saldo de radiação, MJ m^{-2} dia^{-1}; G = fluxo de calor no solo, MJ m^{-2} dia^{-1};, kPa ºC^{-1}; U_2 = velocidade média do vento a 2 m acima da

superfície do solo, m s^{-1}; T = temperatura média do ar, ºC; es = pressão de saturação de vapor, kPa; ea = pressão atual de vapor, kPa; γ = constante psicrométrica, kPa $ºC^{-1}$.

Métodos empíricos utilizados

Fietz e Fisch (FF)

Fietz e Fisch (2009), desenvolveram a equação 2 para a região de Dourados-MS, incluindo o fator de ponderação W em função da temperatura média do ar (Equações 3 e 4)

.

$ETo_{(FF)} = 0{,}225 \cdot W \cdot Rs$ (2)

$W = 0{,}407 + 0{,}0145 \cdot T$ (0°C < T ≤ 16° C) (3)

$W = 0{,}483 + 0{,}01\ T \cdot$ (16° C < T < 32°C) (4)

Onde: W = fator de ponderação em função da temperatura média do ar; T = temperatura do ar, em °C; Rs = Radiação solar global, MJ m^{-2} dia^{-1}.

Ivanov (IV)

De acordo com Cunha et al. (2013), a equação de Ivanov é simples e desenvolvida para períodos mínimos de um mês. A equação 5 adaptada por Dorfman (1977) permite a análise diária.

$$ETo_{(IV)} = 0{,}006 \cdot (25 + T)^2 \cdot \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (5)$$

Onde: T = temperatura média, em °C; UR: umidade relativa média, em %;

McCloud (MC)

A equação de McCloud, inicialmente desenvolvida para hipódromos e campos de golfe, utiliza como parâmetro apenas a temperatura média do ar e é descrita por Jacobs & Satti (2001) apud Cunha et al. (2013) na equação 6:

$$ETo_{MC} = 0{,}254 \cdot 1{,}07^{(1{,}8T)} \quad (6)$$

Onde: T = Temperatura média, em °C.

Método da Radiação Global (Rs)

O método da radiação global, apresentado por Tomar e O'Toole (1980), é calculado em função do parâmetro que a nomeia, aqui denominada como Rs, apresentado pela equação 7:

$$ETo_{(RS)} = 0{,}9 + 0{,}115 \cdot Rs \quad (7)$$

Onde: $ETo_{(RS)}$ = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1}; Rs= radiação solar global, mm dia^{-1};

Stephens-Stewart (SS)

A equação de Stephens-Stewart apresentada por Cunha et al. (2013) é dada pela equação 8.

$$ETo_{(SS)} = 0{,}4047 \cdot Rs \cdot [(0{,}01476 \cdot T) + 0{,}0724] \quad (8)$$

Onde:
Rs = radiação solar global, mm dia^{-1}; T = temperatura média, °C.

Método de Turc (TU)

O método de Turc (1961) foi desenvolvido na Europa, em região com média de umidade relativa do ar superior a 50% (SOUZA, et. al, 2011). Sua estimativa se dá utilizando a equação 9 e leva em consideração o percentual de umidade média.

$$ETo_{(TU)} = a_t \cdot 0{,}013 \cdot \left(\frac{T}{T + 15}\right) \cdot (23{,}9 \cdot Rs + 50) \quad (9)$$

Onde: a_t = coeficiente de ajuste que tem como base a umidade relativa do ar (UR). O percentual influi nas equação 10 e 11:

$$a_t = 1 + \left(\frac{50 - UR}{70}\right), \text{ se } UR < 50 \quad (10)$$

$$a_t = 1, \text{ se } UR > 50 \quad (11)$$

$ETo_{(TU)}$ = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1}; Rs= radiação solar global, mm dia^{-1}; T = temperatura média do ar, ºC;

Os métodos empíricos foram comparados estatisticamente com os valores obtidos por PM (FAO-56). Através da análise de regressão linear foi avaliado o coeficiente de determinação e correlação (R^2 e r, respectivamente). Em complementaridade foi feita a determinação do índice de concordância de Willmott (1981) (d) (Equação 12) e índice de desempenho (c) (Equação 13), e a interpretação conforme Camargo & Sentelhas (1997).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum (|Pi - O| + |Oi - O|)^2}\right] \quad (12)$$

$$c = r \cdot d \quad (13)$$

Resultados e Discussão

Na figura 1 estão apresentadas as médias mensais para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para o município de Ivinhema - MS. Os maiores valores de ETo média para PM são nos meses de novembro (5,75 mm dia^{-1}), janeiro (5,44 mm dia^{-1}), fevereiro (5,41 mm dia^{-1}) e dezembro (5,28 mm dia^{-1}), respectivamente. Estes são meses que evidenciam o aumento da radiação solar e da temperatura. Ivanov e McCloud são os dois métodos que não levam em consideração a radiação global, dentre os métodos em análise, e são os que mais superestimam as ETos médias.

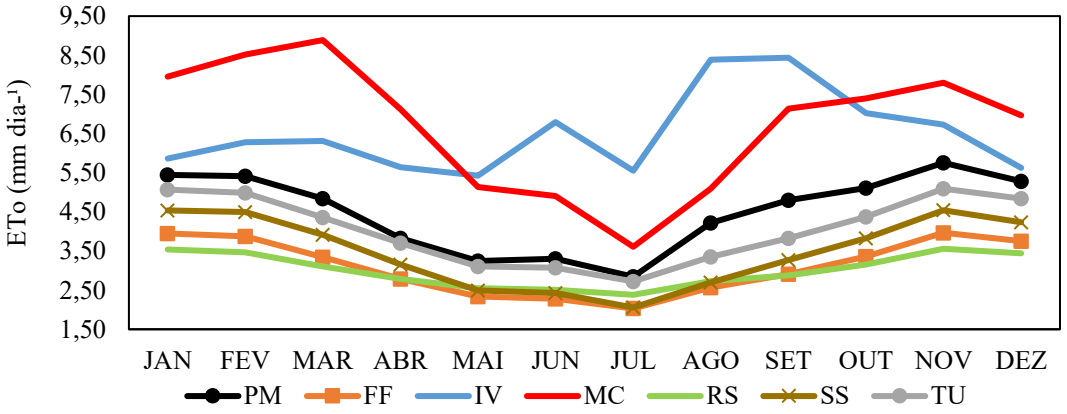


Figura 1. Valores médios mensais de ETo estimado pelos métodos em estudo

Outro fator a ser destacado é que o método de Ivanov eleva a dispersão em períodos específicos. A superestimação do método na análise anual apresenta percentual em relação a Penman-Monteith de pouco mais de 44% (Tabela 1), contudo, no mês de junho o valor é superestimado em mais de 100% e em agosto em 99%, já em dezembro e janeiro, respectivamente, o valor foi superestimado em 6,6 e 7,6%. De forma antagônica, Back (2008) em estudo conduzido em Urussanga, Santa Catarina, demonstra que método de Ivanov foi, entre nove métodos estudados, o que mais subestimou os valores mensais de ETo.

Assim, a análise mensal relacionada ao período seco e chuvoso demonstra que o método IV superestimou de forma mais intensificada em períodos com menor precipitação. Já McCloud manteve uma média de superestimação com menor desvio padrão e demonstra superestimar de forma mais acentuada em períodos onde há maior precipitação.

Tabela 1. Evapotranspiração de referência (ETo) anual, Ivinhema- MS.

Método	Σ anual (mm)	% em relação a Penman-Monteith
Fietz e Fisch	1132,016	68,720
Ivanov	2379,602	144,457
McCloud	2452,022	148,853
Radiação global	1099,847	66,768
Stephens-Stewart	1268,701	77,018
Turc	1477,504	89,694
Penman-Monteith	1634,989	Média: 99,252

O coeficiente de determinação (R^2), que mede o ajuste do modelo estatístico predito pela linearidade, apresentou melhores resultados em SS, TU, FF, RS, MC E IV, nesta ordem, como evidenciados na figura 2.

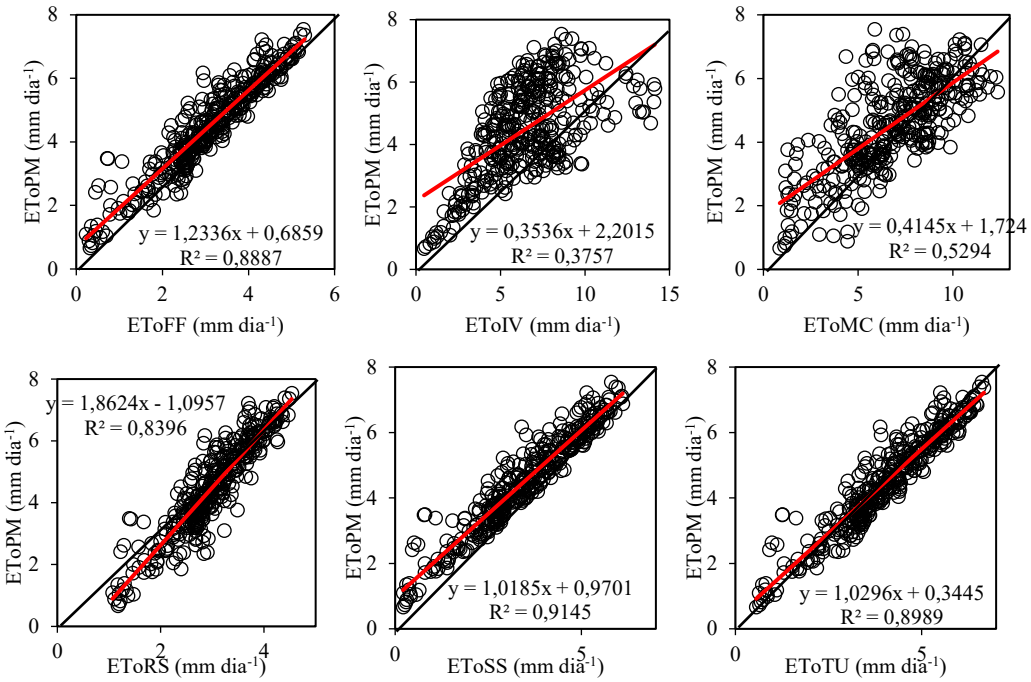


Figura 2. Gráficos de correlação entre o método de Penman-Monteith (PM) e os métodos empíricos Fietz e Fisch (FF), Ivanov (IV), McCloud (MC), Radiação global (RS), Stephens-Stewart (SS) e Turc (TU).

Observa-se que os métodos Fietz e Fisch, Stephens-Stewart e Turc subestimaram os valores anuais de ETo quando comparados com o método de Penman-Monteith, contudo segundo a classificação dada por Camargo e Sentelhas (1997), estes métodos classificam-se como "ótimos" (c > 0,85). O método da Radiação global, que também subestima, é classificado como "bom" (0,66 < c <0,75). Ivanov e McCloud são classificados como péssimos (c < 0,40).

Sendo assim, o método que apresentou o melhor desempenho foi o de Stephens-Stewart, com maior ajuste ao modelo linearizado, com índice de desempenho "c" classificado como ótimo, acompanhado do coeficiente de correlação "r" de 0,95, índice de desempenho "d" de Willmott de 0,91 e desvio padrão de 1,37. Cunha et. al. (2013) obteve desempenho semelhante para o método em avaliação, realizado para o município de Chapadão do Sul - MS, onde o índice "c" foi classificado como "muito bom", coeficiente de correlação superior a 0,87 e índice "d" de 0,89, aproximadamente. No caso do método de FF o desempenho para o município avaliado (Ivinhema - MS) foi superior ao originalmente equacionado (Dourados -MS). No presente estudo o índice "c" foi de 0,90, "r" de 0,94 e "d" de 0,95 (Tabela 4), enquanto que, a literatura citada apresenta classificação "muito bom" com índice "c" de 0,78 e "d" de 0,91. Outra dissemelhança obtida nesse método é a tendência dos pontos, para Dourados os autores observaram a tendência de superestimar a ETo, enquanto que na aplicação do modelo para Ivinhema essa verificação se demonstra oposta (Figura 2). Os modelos de Ivanov e McCloud avaliados por Cunha et. al. (2013) são classificados como "mau" e "bom", respectivamente.

Tabela 2 - Desempenho dos métodos da estimativa de ETo diária no ano de 2024, para Ivinhema-MS

Método	ETo	Desv. P	r	d	c	Classificação
Fietz e Fisch	3,09	1,12	0,94	0,95	0,90	Ótimo
Ivanov	6,50	2,53	0,61	0,55	0,34	Péssimo
McCloud	6,70	2,56	0,73	0,55	0,40	Péssimo
Rad. Global	3,01	0,72	0,91	0,76	0,70	Bom
Stephens-Stewart	3,39	1,37	0,95	0,91	0,86	Ótimo
Turc	3,99	1,34	0,94	0,99	0,93	Ótimo

Conclusão

Os métodos de Fietz e Fisch, Stephens-Stewart e Turc obtiveram altas correlações na estimativa de ETo em relação ao método padrão FAO (Penman-Monteith). Tais métodos, dentre os avaliados, são os mais recomendados para o município de Ivinhema. O método de Radiação global apresenta bom desempenho, sendo passível de aplicação. E os métodos Ivanov e McCloud não são recomendados.

Referências Bibliográficas

ABTEW, W.; MELESSE, A. M. **Evaporation and Evapotranspiration. Measurements and Estimations**, Springer Science + Business Media, Dordrecht Netherlands, 2013, 1p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. **Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy**. Agricultural Water Management, v.98, p.899-920, 2011a.

ASSIS, Wellington Lopes; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães; DE AZEVEDO LOPES, Frederico Wagner. 3 **A DINÂMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.** Recursos hídricos: as águas na interface sociedade-natureza, 2023.

BACK, A. J. **Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC**. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, outubro-dezembro, 2008

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais.** Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARVALHO, D. F. de.; ROCHA, H. S. da.; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. de. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.50, n.1, p.1-11, jan. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000100001

CUNHA, F. F. da.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. de. **Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul- MS**. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V. 21 N.2 Março/Abril 2013. Reveng 159-172 p.

DORFMAN, R**. Critérios de avaliação de alguns métodos de cálculo da evapotranspiração potencial.** Porto Alegre. UFRGS. Dissertação de Mestrado, 1977. 210p.

EMBRAPA. **Consulta à base de dados.** Disponível em: <https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/banco-dados/base_dados>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Chapter 2 - FAO **Penman-Monteith equation**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm>. Acesso em: 22 nov. 2018.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v13, n.4, p. 449-453, 2009. Campina Grande, PB.

JACOBS, J.M.; SATTI, S.R. **Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model (Final Report)**. Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, 2001. 114p.

JENSEN, M.E.; HAISE, H.R**. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.4, n.1, p.15-41, 1963.

OLIVEIRA, L. F. C. de; CARVALHO, D. F. de.; ROMÃO, P. de A.; CORTÊS, F. C. **Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.31, n.2, p.121-126, 2001.

PELLISON, Antonio Tadeu et al. **Sistema automático de aquisição de dados de evapotranspiração de referência acoplado a um lisímetro de lençol freático constante**. Research, Society and Development, v. 12, n. 5, p. e19412541720-e19412541720, 2023.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G.C**. Evapotranspiração. Fundação de Estudos Agrários**. Luiz de Queiros: FEALQ, Piracicaba, 183p. 1997

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2007, p. 78.

RAZIEI, T; PEREIRA, L. S. **Estimation of ETo with Hargreaves–Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran**. Agricultural Water Management, v.121, p.1-18, 2013. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.12.019.

ROCHA, Humberto Ribeiro da et al. **Estimativa de evapotranspiração por sensoriamento remoto para gestão de recursos hídricos no Brasil.** Alves Sobrinho, Teodorico (Org.). Regulação e gestão de recursos hídricos no Brasil. Campo Grande: Oeste, 2023. p. 340-368, 2023.

RODRIGUES, C. M. **Evaporação e evapotranspiração**. Hidrologia Agricola, ICAAM - ECT da Universidade de Évora. p. 215-216. URI: http://hdl.handle.net/10174/7755.

SOUZA, A. P. de.; CARVALHO, D. F. de.; SILVA, L. B. D. da; ALMEIDA, F. T. de.; ROCHA, H. S. da. **Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.3, p.219-228, mar. 2011

TOMAR, V.S.; O'TOOLE, J.C. **Water use in lowland rice cultivation in Asia: a review of evapotranspiration.** Agricultural Water Management, New York, v.3, n.1, p.83-106, 1980.

TURC, L. **Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour.** Annals of Agronomy, v.12, n.1, p.13-49, 1961.

WILLMOT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D.R**. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research,** Ottawa, v.90, n.5, p.8995- 9005, 1985.

ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO HÍDRICA DEMOCRÁTICA: ABORDAGENS DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

1Marcela Furtado Calixto, 2João Paulo Moraes Rabelo e 3Isabela Cristina Leite da Silva
1Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas, e-mail:marcelafc.adv@gmail.com; 2Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas, e-mail: joaopaulomoraesrabelo@gmail.com; 3Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas, e-mail:isabelaleitecs@gmail.com.

Palavras-chave: gestão social; meio ambiente; participação; educação ambiental.

Resumo

As políticas de recursos hídricos brasileiras atravessaram diferentes cenários de exploração, utilização e gestão nas últimas décadas até chegar ao atual sistema de gestão, descentralizado, integrado e com a inauguração da gestão democrática. Neste sentido, por meio de uma análise qualitativa de documentos e artigos, este estudo teve como objetivo principal avaliar a questão da participação social na tomada de decisão com relação aos recursos hídricos. Com base na análise da participação social na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Foi identificado que embora exista um sistema sólido de gestão hídrica no Brasil ainda existem consideráveis lacunas a serem preenchidas com relação ao tema e que a participação social, embora seja amparada pelas legislações ainda é muito enviesada e em alguns casos sobrepostas pelo conhecimento técnico.

Introdução

O meio ambiente constitui o espaço natural onde o ser humano se encontra inserido e realiza as suas atividades e relações idiossincráticas, já o ambiente natural é a matriz geradora e mantenedora da vida na Terra. Tendo estas definições estabelecidas, podemos afirmar sobre a importância da gestão coerente dos recursos naturais e da biodiversidade. Neste cenário, diante de toda exploração insustentável já ocorrida, a Constituição Federal do Brasil de 1988 (CF/88) assegura que o meio ambiente ecologicamente equilibrado constitui um direito fundamental e social. Em seu Art. 225, ele é considerado um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988). Neste sentido, é possível identificar a importância e a relevância que foi a CF/88 para o cenário jurídico ambiental brasileiro.

Durante o período de construção da legislação ambiental brasileira, o pensamento governamental deixava de ser setorial e fragmentado para ser integrativo com uma perspectiva holística. Esse cenário facilitou a criação e desenvolvimento de alguns instrumentos de gestão que possuímos atualmente. No caso dos recursos hídricos, suas formas de gestão tem sido objeto de discussão em vários setores da sociedade brasileira. Atualmente, seguindo os princípios introduzidos pela CF/88 o país conta com um sistema de gestão hídrica descentralizado com uma atuação *in loco*, teoricamente, este sistema está fundamentado na participação popular para a tomada de decisão.

Assim, este estudo tem como objetivo principal avaliar a questão da participação social (gestão participativa) nas tomadas de decisão com relação aos recursos hídricos nacionais, com enfoque na PNRH representada pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, uma vez que conforme o arcabouço jurídico brasileiro a participação social é fundamental na tomada de decisão no contexto da gestão de recursos hídricos. Tendo isto, o trabalho se estruturou em duas vertentes principais: a primeira trazendo uma abordagem sobre a gestão participativa da água e a segunda discutindo sobre a participação social na gestão dos recursos hídricos nacionais.

Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos propostos na seção anterior, o percurso metodológico deste trabalho foi orientado por uma abordagem qualitativa, alicerçada em uma pesquisa bibliográfica. Conforme aponta Gil (2010), estudos qualitativos buscam estreitar a relação entre o tema estudado e o autor, possibilitando que este se crie ideias e hipóteses acerca de uma determinada área de estudo, neste caso a gestão participativa dos recursos hídricos. Para sua construção foram utilizados diferentes tipos de bibliografias, como artigos, sites, livros e legislações. As pesquisas de coleta de material foram realizadas buscas no portal "*Google Scholar*", foram considerados trabalhos disponíveis até a quinta página da base de dados. Com descritores relacionados ao eixo central do trabalho, sendo eles: "Política Nacional de Recursos Hídricos", "Gestão Participativa da Água" e "Participação Social". A seleção do material se deu por meio da leitura dos títulos e dos resumos seguindo ciclos de análise conforme disposto por Conforto, Amaral e Silva (2011).

Desenvolvimento

Os recursos hídricos e o meio ambiente no ordenamento jurídico brasileiro

No começo da década de 1980, teve início o processo de revisão da legislação brasileira sobre recursos hídricos, que foi consolidado com a promulgação da atual CF/88 (Abers, 2012). O direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente

equilibrado está expressamente previsto no Artigo 225 “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” (Brasil, 1988, Art. 225). Para isso, deve ocorrer a gestão compartilhada do ambiente entre o poder público e a sociedade, estabelecendo então o conceito de participação social. Também, com o intuito de assegurar a efetividade desse direito estabelecido no art. 225, a CF/88 incluiu como uma das ações para garantir não só um ambiente ecologicamente equilibrado, mas também a defesa e a preservação, a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988).

Para além, a CF/88 estabeleceu os papéis fundamentais de cada esfera legislativa e da coletividade. Dentre as ações designadas ao poder público, cabe a criação de instrumentos de gestão ambiental e hídrica com um foco na responsabilidade compartilhada do ambiente entre o governo e a sociedade. Quando direcionamos a questão da criação destes instrumentos para os recursos hídricos, podemos destacar os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH), que são instituições de caráter consultivo e deliberativo sobre as questões hídricas (Brasil, 1997).

Embora o artigo 225 da CF/88 englobe a questão dos recursos hídricos junto à questão ambiental de uma forma geral, em outros pontos da Carta Maior, os recursos hídricos também são abordados, como é o caso do inciso 19 do art. 21, onde dispõe sobre a criação de um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Como resposta a este inciso, foi estabelecido em 1997 a PNRH ou também como conhecida, Lei das Águas. A PNRH teve como objetivo principal, assegurar a todas as gerações, acesso à água e ainda, garantir a segurança hídrica brasileira (Muniz, 2015), estabelecendo no país uma gestão das águas no Brasil com base na descentralização, participação e no reconhecimento do recurso como um bem público, limitado e com valor econômico, priorizando o consumo humano e a dessedentação de animais em situações de escassez (Brasil, 1997).

Dessa forma, observa-se que a evolução do ordenamento jurídico brasileiro consolidou a integração entre a proteção ambiental e a gestão dos recursos hídricos, reconhecendo a água como um elemento essencial à vida e à sustentabilidade. A CF/88 e a PNRH representam marcos fundamentais nesse processo, ao estabelecerem princípios e instrumentos que promovem a gestão participativa, descentralizada e sustentável das águas, fortalecendo o papel do Estado e da sociedade na preservação dos recursos naturais para as presentes e futuras gerações.

Gestão participativa no ordenamento jurídico brasileiro

No Brasil, em meados das décadas de 60 e 80, emergiram avanços nas questões referentes ao meio ambiente como resposta aos movimentos ambientalistas crescentes na época. Um novo olhar sobre a responsabilidade ambiental, antes quase inexistente, pode ser notado inclusive pelos três ciclos sob as quais ela evoluiu: a ótica corretiva, em meados da década de 70, a ótica preventiva da década de 80 e a ótica integradora da década de 90.

A gestão participativa é um processo fundamental para a tomada de decisão em um sistema democrático, embora a promoção desta metodologia seja um desafio enfrentado por inúmeras organizações brasileiras que buscam promovê-la. Os mecanismos de gestão participativa no Brasil aumentaram significativamente nos últimos anos. Quando nos referimos aos recursos hídricos, existem aproximadamente 210 CBHs (Observatório das Águas, 2019), embora seja um número significativo, ainda não é suficiente para que a participação social seja efetiva e igualitária em todo o território nacional, ainda persiste o desafio de ampliar e qualificar a participação social de forma equitativa em todo o país através dos CBH, consolidando uma gestão verdadeiramente integrada e inclusiva dos recursos naturais.

O Estatuto das Cidades, instituído pela Lei 10.257 de 2001 (Brasil, 2001) estabeleceu a gestão democrática nas políticas públicas de desenvolvimento urbano, o que inclui a governança e participação social nas políticas urbanas de resíduos sólidos, abastecimento de água e saneamento. No contexto da governança, embora o conceito seja frequentemente discutido no contexto da gestão dos recursos hídricos, ainda existem lacunas significativas quanto à sua aplicação prática e efetividade no campo. Isso se deve, em parte, ao fato de que os fenômenos relacionados à governança são relativamente recentes, ganhando maior relevância apenas a partir da década de 1980 (Allan, 2003; Marcon, 2023).

No Brasil, é comum ver a associação da gestão participativa à questões relacionadas aos recursos hídricos, contudo, esta pode ser promovida em diferentes ocasiões para uma tomada de decisão consciente e equitativa, assim como o conceito de governança. Esta associação ocorre pela importância que é dada a participação social na tomada de decisão no processo de gestão dos recursos hídricos pela PNRH. Em síntese, a crescente valorização da responsabilidade ambiental no Brasil, impulsionada pelos movimentos ambientalistas e refletida nas diferentes óticas de gestão ao longo das décadas, abriu espaço para o fortalecimento de práticas mais democráticas e participativas. No entanto, apesar dos avanços institucionais, como a criação dos CBH, consideráveis lacunas ainda são identificadas nesta área do conhecimento.

Gestão participativa na Política Nacional de Recursos Hídricos

A PNRH é uma diretriz basilar para a gestão dos recursos hídricos nacionais, como já mencionado. Ela se orienta a partir de alguns princípios fundamentais sendo eles: dominialidade do recurso; valoração do recurso; usos prioritários; usos múltiplos; bacia hidrográfica; descentralização; e a participação popular. A discussão a ser apresentada a seguir se apoia justamente em dois princípios citados, a descentralização e a participação popular na tomada de decisão.

Como já mencionado, a PNRH foi estabelecida com objetivo principal de assegurar que todas as gerações, atuais e futuras, tenham acesso ao recurso e garantir a segurança hídrica brasileira (Muniz, 2015). Além disso, ela introduziu um conceito novo em relação à água, apontando o recurso como um bem de domínio público dotado de valor econômico, desta forma, deixando de existir águas particulares. Assim, desconstruindo a visão de propriedade sobre o recurso que era proposta no Código de Águas

de 1934, isto impactou diretamente no campo social no contexto da gestão de recursos hídricos (Rezende, 2016; Brasil, 1997). Na prática, a PNRH é uma diretriz que ao mesmo tempo que complementa de forma inovadora, também revoga algumas seções e capítulos do Código de Águas de 1934. Além disso, a PNRH descontrói uma visão setorial e reforça, assim como na CF/88 a promoção de uma perspectiva holística sobre as águas brasileiras.

A partir do art. 3 da PNRH é notório que ela considera a água como componente de um sistema, e que para gestão eficiente, todos outros componentes integrantes deste sistema devem também ser geridos de forma integrada e articulada. Tal fato pode ser comprovado com o reforço no estabelecimento das bacias hidrográficas, onde nestas, são considerados características particulares do ambiente e elaborados planos diretores específicos para cada tipologia de ambiente (ANTUNES, 2014). Para além de ser instituído como princípio fundamental, a PNRH instituiu em seu artigo 4º que a composição dos CBH devem incluir representantes da sociedade, com vistas a contribuir para uma participação efetiva da sociedade nas decisões acerca da gestão hídrica também junto às CBH. Com efeito, em complemento às diretrizes no sentido de participação social na gestão, o artigo 9º discorre sobre a importância da integração da participação da sociedade na elaboração, implementação e avaliação das ações de gestão de recursos hídricos.

Em suma, a tabela abaixo apresenta os principais aspectos em que a participação social está inserida na PNRH.

Tabela 1 – Abordagem direta sobre a Participação Social na PNRH

Descrição
Define a gestão democrática e a participação social como princípios fundamentais
Estabelece a composição dos CBH que incluem representantes da sociedade.
Destaca a importância da participação da sociedade na elaboração, implementação e avaliação das ações de gestão dos recursos hídricos.
Gestão participativa dos recursos hídricos, envolvendo a sociedade na elaboração, implementação e avaliação das ações.
Realização de audiências públicas e consultas públicas para discutir temas relacionados à gestão de recursos hídricos.
Promoção de fóruns de discussão e debates para participação social na formulação de políticas e planos de recursos hídricos.
Composição dos CBH incluindo representantes da sociedade civil.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Diante do exposto na tabela 1, é possível concluir que a PNRH consolidou um importante marco na democratização da gestão das águas no Brasil, ao instituir a participação social e a descentralização como pilares estruturantes de seu texto legal. Os artigos destacados demonstram que a sociedade civil possui papel ativo tanto na formulação quanto na implementação e avaliação das políticas públicas voltadas aos recursos hídricos, assegurando que as decisões reflitam as necessidades e especificidades locais. Assim, a efetividade da gestão hídrica passa, inevitavelmente, pelo engajamento coletivo e pela corresponsabilidade entre Estado e sociedade.

Na sequência, os dispositivos legais propostos desenvolvem uma espécie de procedimentos, instruções e hipóteses em que deve ser a sociedade integrada e convocada a implementar a participação social, tais como: promoção de audiências públicas e consultas públicas para discutir temas relacionados à gestão dos recursos hídricos, promoção de fóruns de discussão e debates para a participação social e formulação de políticas públicas e planos de recursos hídricos, além da composição dos CBH, como destacado na tabela 1.

Por fim, para concluir, o estabelecimento da PNRH e a consolidação da participação social na gestão de recursos hídricos ainda está ocorrendo de forma gradativa e lenta por diferentes variáveis relacionadas aos seus instrumentos de implementação (Assumpção *et al.*, 2017). As autoras destacam ainda que a evolução lenta da norma sobre o país está relacionada com o baixo rendimento dos recursos gerados pelo instrumento de cobrança e a pouca visibilidade que os CBH ainda possuem.

A participação social e deliberativa nos recursos hídricos

Com base em estudos contemporâneos, a participação social emerge como uma proposta alternativa aos padrões tradicionais de gestão. As pessoas participam e atuam nos instrumentos de deliberação sobre os recursos hídricos, ainda de forma indireta. Essa perspectiva tem uma implicação muito simples mais importante, conforme atesta Beck (1992) o maior desafio da democracia na sociedade moderna é decidir se os tecnocratas continuam com o controle decisório ou se tomaremos a competência para fazer nosso próprio julgamento, através da criação de uma percepção cultural do risco mais acurada que propicie a formação de instâncias sociais participativas para a gestão ambiental democrática.

Para atingir a excelência e a equidade nos processos decisórios em relação aos recursos hídricos no Brasil ainda existem grandes barreiras a serem desconstruídas. Baltazar e Kapp (2016) apontam que os modelos para promoção da participação social em tomada de decisão ainda são engessados e necessitam de uma revisão com uma perspectiva holística. Ainda segundo as autoras, "horizontalizar" sistemas que foram estabelecidos de forma vertical assim como assumir a assimetria entre os envolvidos é fundamental para o sucesso dos trabalhos na promoção da participação social e no desenvolvimento da cidadania deliberativa em grupos sociais menos favorecidos.

Na proposta de Habermas (1997) a cidadania deliberativa está diretamente relacionada à ideia de participação. Assim, a cidadania e a participação referem-se à apropriação pelos indivíduos do direito de construção democrática do seu próprio destino. A realização desses princípios passa pela organização coletiva dos participantes, possibilitando desde a abertura de espaços de discussão dentro e fora dos limites da comunidade, até a definição de prioridades, a elaboração de estratégias de ação e o estabelecimento de canais de diálogo com o poder público (Tenório; Rozenberg, 1997).

A concepção de gestão social está apoiada na compreensão da inversão da ordem das categorias Estado-sociedade e capital-trabalho, para sociedade-Estado e trabalho-capital, com a finalidade de sinalizar a ênfase na concepção da sociedade como protagonista nessas relações (Tenório, 2005). Essa nova colocação se baseia nos princípios que levariam, ainda que de uma forma *sui generis*, à realização da noção da cidadania deliberativa, que emergiria do entendimento de que a legitimidade das decisões deve ter origem em processos de discussão, orientados pelos princípios da inclusão, do pluralismo, da igualdade participativa, da autonomia e do bem comum.

No Brasil, os mecanismos de participação social aumentaram significativamente nos últimos anos, embora ainda possuam um viés muito engessado e verticalizado, como já mencionado. Os CBHs são espaços de tomada de decisão de suma importância para tomada de decisão com relação aos recursos hídricos no Brasil, além de que os CBHs incentivam a gestão descentralizada e integrada dos recursos hídricos, modelo este que é proposto pela CF/88 e pela PNRH.

Segundo Jacobi (2007), a problemática da participação é extremamente complexa e deve ser promovida e incentivada pelo CBH. De acordo com o autor, a população só participa se possuir uma função definida, o que é uma questão relativamente difícil de ser solucionada, uma vez que em todos os setores dos comitês, dependo do tamanho, não existem funções para todos, então, umas das formas de participação que é essencial por parte da comunidade é simplesmente estar presentes nas reuniões e atividades promovidas pelo CBH. A efetividade da participação social também está alicerçada nas formas de comunicação e informação que o CBH e outros instrumentos transmitem para a comunidade sobre as atividades e trabalhos, nestes desenvolvidos.

Com essas explanações sobre a relação da gestão social e a gestão participativa, é possível notar a influência que estas possuem no contexto socioambiental brasileiro. Neste sentido, para que países com dimensões continentais como o Brasil, contar com a participação popular nas tomadas de decisão e no desenvolvimento de estratégias de conservação e preservação é fundamental, uma vez que, contando com esse apoio o estado pode direcionar suas ações às áreas mais degradadas e que necessitam de uma maior atenção.

Por fim, diante da complexidade que envolve a participação social e deliberativa na gestão dos recursos hídricos, conclui-se que embora haja avanços institucionais, ainda persistem desafios estruturais e culturais que dificultam a consolidação de uma democracia ambiental efetiva. A predominância de modelos tecnocráticos e a verticalização dos processos decisórios ainda são barreiras significativas para o fortalecimento da cidadania deliberativa no Brasil, especialmente entre os grupos mais vulneráveis. A superação desses entraves exige uma profunda transformação nos modelos de governança, pautada por práticas mais horizontais, inclusivas e sensíveis às realidades locais. Assim, a participação social não deve ser encarada como um fim em si mesma, mas como um meio essencial para a construção coletiva de políticas públicas ambientalmente justas, socialmente legítimas e democraticamente sustentáveis.

Considerações Finais

Para concluir, foi possível identificar um avanço nas diretrizes e legislação, para incluir uma gestão dos recursos hídricos mais alinhada à gestão democrática e territorializada desses recursos. Nesse aspecto, de acordo com o exposto no trabalho foi possível identificar a importância da CF/88 para as legislações ambientais brasileiras, pois ela foi publicada em um período de redemocratização da sociedade brasileira, onde novas demandas sociais estavam surgindo e algumas já foram incluídas no texto normativo. No entanto, foi possível concluir que ainda existem consideráveis lacunas a serem preenchidas com relação à participação social na gestão dos recursos hídricos no Brasil. Além disso, foi possível identificar que a eficiência do sistema de gestão dos recursos hídricos brasileiro poderia ser maximizada com a incorporação de algumas variáveis e a sua integração ao compilado legislativo, políticas públicas e a incorporação de tecnologias sociais para uma governança democrática e territorializada. Outra questão de suma relevância que é necessário considerar em relação à gestão participativa dos recursos hídricos é sobre a promoção da educação ambiental transformadora em todo território nacional, para que os cidadãos integrem de forma mais significativa para a participação das discussões sobre a gestão dos recursos hídricos.

Referências

ABERS, R. (2012). Pensando Politicamente a Gestão da Água. In: Água e Política. Org. Abers. R. pp. 15-36.

ALLAN, J. A. Integrated Water Resources Management is more a political than a technical challenge. *In:* AL-SHARHAN, S.; WOOD, W. (eds.). Water Resources Perspective: Evaluation, Management and Policy. Amsterdam: Elsevier Science, 2003.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 16 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2014.

ASSUMPÇÃO, R. F.; SÉGUIN, E.; KLIGERMAN, D. C.; COHEN, S. C. Possíveis contribuições da integração das políticas públicas brasileiras à redução de desastres. **Saúde e Debate**, Rio de Janeiro-RJ, v. 41, p. 39-49, 2017.

BALTAZAR, A. P.; KAPP, S. Assessoria técnica com interfaces. In: **Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, 4., 2016, Porto Alegre - RS.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Brasília, DF:2001.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. 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. Brasília-DF, 1997.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 2011, Anais. Porto Alegre, RS: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

HABERMAS, J. Direito e Democracia: entre facticidade e validade. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1997.

MARCON, P. Governança das Águas no Brasil: colaborações da sociedade civil e desafios da implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2023. 200 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) – UFSCar, São Carlos, SP, 2023.

MUNIZ, C. A. F. Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). JUS.com.br. 2015.

OBSERVATÓRIO DAS ÁGUAS. Comitês de Bacias Hidrográficas do Brasil. 2019. Disponível em: https://observatoriodasaguas.org/wp-content/uploads/sites/5/2019/12/Comit%C3%AAs-de-Bacias.pdf Acesso em 25/11/2021.

PINHO, J. A. G.; SANTOS, M. E. P. D. Aporias em torno do conceito de Gestão Social: dilemas teóricos e políticos. **Revista de Gestão**, v. 22, n. 2, p. 1-18, 2015

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

REZENDE, L. A. **A Crise Hídrica e o Direito Brasileiro: Problemas de Governança na Política Nacional de Recursos Hídricos**. 2016, p. 66, TCC (Curso de Direito), Centro Universitário de Brasília. Brasília-DF, 2016.

SANTOS, B. S. **Para um novo senso comum: a ciência, o direito e a política na transição paradigmática**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

TENÓRIO, F. G. (Re)visitando o conceito de gestão social. In: **Revista Desenvolvimento em Questão**, v. 3, n. 5, p. 101-124, 2005.

TENORIO, F. G. Gestão social: uma réplica. In: RIGO, A. S. et al. (Orgs.). **Gestão social e políticas públicas de desenvolvimento: ações, articulações e agenda**. Recife: Univasf, 2010.

TENÓRIO, F. G. ROZEMBERG, J. Gestão pública e cidadania: metodologias participativas em ação. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro: EBAP/FGV, v.31, n. 4, p. 101-125, jul./ago./1997.

WARAT, L. A. **O Direito e sua linguagem**. Porto Alegre: Sérgio A. Fabris Editor, 1995.

— RESUMOS —

Resíduos Sólidos: Reciclagem, Coleta, Tratamento, Disposição Final e Aterros

8º SSS

BENEFICIAMENTO E RETIRADA DE LEDS DE MÓDULOS DE LÂMPADAS PÓS-CONSUMO

1Angelo Ferreira Rodrigues da Silva, 2Kauã Eschtiler Alves, 3Pedro Bachmann Calniski, 4Fernanda Cardoso Pereira, 5Emanuele Caroline Araujo Eschtiler, 6Aline Deitos, 7Josimar Souza Rosa, 8Carlos Alberto Mendes Moraes

1 E.E.E.M. POLISINOS, e-mail: af9869459@gmail.com; 2 E.E.E.M. POLISINOS, e-mail: kauaeschtiler217@gmail.com; 3 E.E.E.M. POLISINOS, e-mail: pbachmann32@gmail.com; 4 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e-mail: fnandacpereir@gmail.com; 5 UNISINOS, e-mail: emanuelecarolinerarujo@gmail.com; 6 UNISINOS, e-mail: aline.deitos@gmail.com; 7 UNISINOS, e-mail: js-rosa@hotmail.com; 8 UNISINOS, e-mail: cmoraes@unisinos.br

Palavras-chave: Lâmpadas LED; beneficiamento; retirada de LEDs

Introdução

As lâmpadas LED vêm tendo um crescimento de consumo muito acelerado nos últimos anos, devido às suas vantagens sobre as fluorescentes, como maior vida útil, menor consumo de energia, e ausência de mercúrio (Osram, 2009; Oliveira *et al*., 2024). Nessas lâmpadas são encontrados diversos materiais importantes economicamente, como gálio, prata, ouro, ítrio e entre outros (Annoni *et al.*, 2019; Mir; Vaishampayan; Dhawana, 2022).

Alguns destes metais possuem grande valor econômico no mercado e são essenciais para a produção de equipamentos eletroeletrônicos e outras tecnologias, sendo denominados metais críticos (Ayres; Peiró, 2017; European Commission, 2017; Zhuang *et al.*, 2015; Işildar *et al.*, 2019). Além disso, a presença de metais pesados e tóxicos, como o chumbo também são encontrados neste tipo de equipamento, em que são utilizados para a soldagem dos LEDs na placa base denominada de módulo de LED (componente de LED + placa base) (Illès; Kèkesi, 2023; Eschtiler *et al*., 2024).

Com isso, o consumo em massa desse produto pode gerar o descarte inadequado em seu fim de vida, pois mesmo que as lâmpadas LED sejam mais sustentáveis, elas ainda possuem metais com potencial de poluição ambiental, e são consideradas resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) (ABILUX, 2023; Baldé *et al.*, 2024), e portanto podem conferir periculosidade em função de dispositivos presentes (PCI), quando desmontados e descartados inadequadamente no solo e água, gerando impactos negativos, conforme Decreto 10.240/2020. Porém, este descarte incorreto de lâmpadas e produtos de LED é comum devido à ausência de legislação específica, de não estar no acordo setorial de REEE, incentivos governamentais e orientações claras para os consumidores. A falta de acordos setoriais para esses equipamentos e de pontos de coleta voluntária também agravam o problema no momento do descarte. Além disso, por não serem ainda considerados REEE oficialmente geram dúvidas e muitos erros em seu descarte (Schnorr *et al.*). Quando não são descartados na coleta comum ou acabam misturados com lâmpadas fluorescentes, e geralmente vão para a coleta seletiva municipal, na melhor das hipóteses (Santos, 2021; Santos *et al.*, 2022; Rosa *et al.*, 2023; Eschtiler *et al*., 2024). Porém, se as unidades de triagem (UT) não tiverem conhecimento adequado sobre esses produtos ou capacidade de desmontá-los e comercializar os materiais, as lâmpadas de LED podem se tornar um problema ambiental, ao ser descartadas como rejeitos, o que aumenta o risco de contaminação e desperdício.

O grupo de pesquisa, Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat), vem colaborando com algumas UTs na valorização deste resíduo a fim de tornar uma fonte de renda para estas e criar ferramentas para auxiliar na produção e reduzir o tempo de desmontagem das lâmpadas. O objetivo do trabalho foi realizar o beneficiamento de módulos de LED e posterior remoção dos LEDs por meio de uma chapa aquecedora avaliando o uso e funcionamento com relação a tempo, otimização do processo e realizar o balanço de massa.

Metodologia

As lâmpadas LED foram fornecidas por uma UT de Porto Alegre e desmontadas pelo grupo NucMat. Após a desmontagem das lâmpadas é iniciada a etapa de beneficiamento dos módulos de LED, pois devido a presença de componentes e adesivos nos módulos, foi necessária uma limpeza para evitar contaminações e facilitar a próxima etapa, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1: Sequência do beneficiamento e as ferramentas utilizadas

Posteriormente, realiza-se a etapa de retirada dos LEDs por meio de uma chapa aquecedora desenvolvida pelo grupo de pesquisa. Nesta chapa são colocados os módulos de LED e aquecidas em diferentes temperaturas, fazendo assim, com que os

LEDs se desgrudem sem nenhuma perda de material. As temperaturas utilizadas foram de 150, 200 e 250°C para verificar a maior proporção de LEDs soltos em cada uma. Na Figura 2 é possível observar a metodologia empregada.

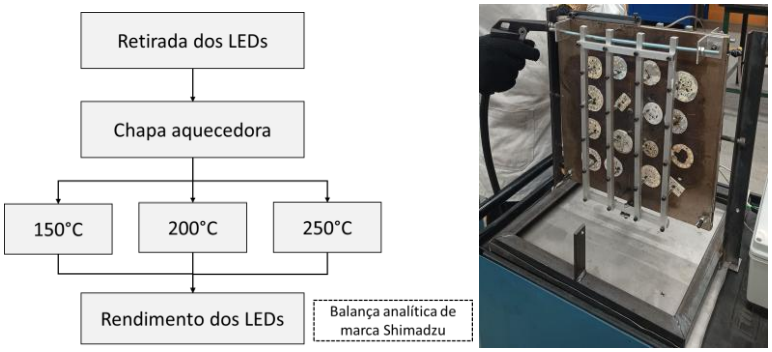


Figura 2: Fluxograma da retirada dos LEDS e chapa aquecedora utilizada.

Resultados

Com a etapa de beneficiamento dos módulos de LED, observou-se que o componente com maior representatividade é a placa de LED (52,93%), seguido da PCI com capacitor (30,16%) e o transformador (13,88%), conforme Figura 3. Destes componentes, a PCI com capacitor e o transformador possuem interesse econômico uma vez que apresentam metais como o cobre e são vendidas pela UT. Já a placa LED é composta tanto por uma placa de alumínio e os respectivos LEDs (possuem metais como o gálio e o ítrio). Porém não se tem uma valorização do componente LED, sendo necessário estudos para a recuperação dos metais presentes. Além disso, os demais componentes como conector e circuito integrado devem ser avaliados para identificar alternativas de recuperação e ou reciclagem dos materiais.

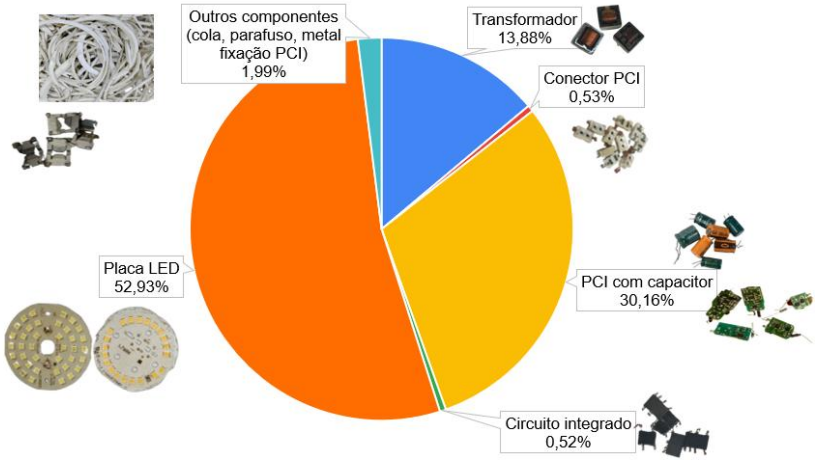


Figura 3: Massa dos componentes presentes no módulo de LED

Os LEDs após chegar na temperatura escolhida começam a se desgrudar de suas placas, porém nem todas acabam saindo a 150°C, sendo necessário mudar a temperatura para 200°C e até 250°C. Nas Figuras 4 e 5 observa-se que a temperatura com maior remoção dos LEDs é a 200°C onde 46% dos LEDs se desgrudam de seus módulos. Porém nem todos foram soltos a 200°C, sendo necessário aumentar a temperatura para 250°C, onde a esse ponto todos LEDs presentes nos módulos acabam desprendendo totalmente de suas placas.

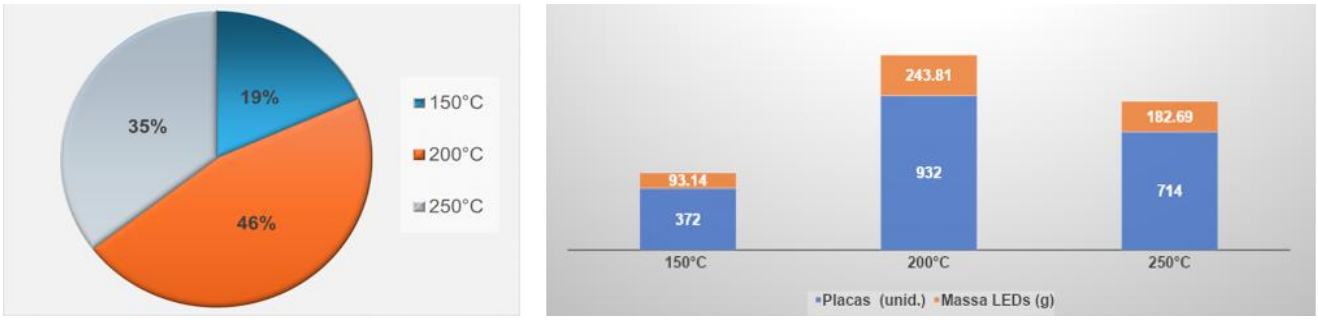


Figura 4 e 5: Quantidade de módulos em que os LEDs foram soltos em cada temperatura e massa de LEDs gerada (esquerda) e proporção de LEDs soltos a 150, 200 e 250 °C (direita)

Conclusão

A etapa de beneficiamento é importante, pois evita a contaminação de outros componentes nas amostras de LED, retirados através da chapa aquecedora desenvolvida, e que serão utilizadas para trabalhos futuros, assim, visando a recuperação dos metais contidos nos LEDs.

Porém, a identificação dos componentes retirados e a compreensão da função de cada um deles é fundamental para encontrar métodos e alternativas para a recuperação ou reciclagem desses resíduos, visando uma destinação adequada para cada um deles e, consequentemente, evitando contaminações no solo e água, com um benefício significativo para o meio ambiente. Além disso, eles têm um potencial de valorização econômica visto que alguns destes componentes apresentam materiais de valor agregado como é o caso das PCIs e transformadores, assim movimentando a economia e obtendo um aspecto social muito importante. Com isso, após o beneficiamento, as PCIs e os componentes de alumínio são enviados às cooperativas para comercialização, as partes poliméricas estão sendo estudadas para viabilizar sua reciclagem, e os LEDs ficam para estudos posteriores de recuperação de metais críticos e estratégicos como o Gálio e o Ítrio.

A retirada de LEDs com uso da chapa aquecedora é uma forma mais eficiente e segura, podendo-se obter melhor resultado do que o antigo método de retirada de LEDs (manual). O tempo da retirada de LED é de apenas 36,6 seg. para cada placa. Para trabalhos futuros do projeto a chapa será aquecida somente em 200°C para ter uma otimização de tempo e consumo energético. Como pontos positivos obteve-se menor tempo de processo, maior produtividade e melhor nível de segurança dos desmontadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado, ao CNPq (DT2) pelas bolsas de pesquisa, e ao CNPq e FINEP pelos recursos de projeto.

Referências Bibliográficas

ANNONI, R. *et al*. 2019. **Light emitting diode waste: Potential of metals concentration and acid reuse via the integration of leaching and membrane processes.** Journal of Cleaner Production.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO (ABILUX). **Guia LED descomplicado**. 2023. Disponível em: <https://www.abilux.com.br/docs/ABILUX_GuiaLED-Descomplicado_REV_052023.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2025

AYRES, R. U.; PIERÓ, L. T. **Material Efficiency: Rare And Critical Metals**. The Royal Society Publishing. Fontainebleau, France, janeiro, 2017.

BALDÉ, Cornelis P. *et al*. **The Global E-waste Monitor 2024.** International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). 2024. Disponível em: https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/. Acesso em: 21 março 2024.

ESCHTILER, E. C. A. *et al*. **Study of Separation of Leds from Post consumer Lamp Modules**. AMBIENTE & SOCIEDADE (ONLINE), v. 27, p. 1-18, 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **Study on the review of the list of Critical Raw Materials – Critically Assessments**. European Commission, Luxembourg, 2017. Disponível em:<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>. Acesso em: 08 abr. 2025.

ILLÉS, I. B.; KÉKESI, T. **A comprehensive aqueous processing of waste LED light bulbs to recover valuable metals and compounds**. Sustainable Materials and Technologies. v. 35, 2023.

IŞILDAR, A. *et al*. **Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review**. Journal of Hazardous Materials. v. 362, p. 467-481, 2019.

MIR, S., VAISHAMPAYAN, A.; DHAWAN, N. 2022. **A Review on Recycling of End-of-Life Light-Emitting Diodes for Metal Recovery.** JOM 74, 599–611 (2022).

OLIVEIRA, R. P. *et al*. **Extraction of Yttrium from Light-Emitting Diode Waste by Alkali Fusion Followed by Acid Leaching**. Journal of Sustainable Metallurgy, v. 10, p. 625–636, 2024. DOI: 10.1007/s40831-024-00814-5.

OSRAM**. Life Cycle Assessment of Illuminants A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps Innovations Management**. Regensburg, Germany, 2009. Disponível em: <http://www.energ-etica.eu/mediapool/99/993141/data/OSRAM_LED_LCA_Summary_November_2009.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2025.

ROSA, J. S. *et al*. **Avaliação do Estado Funcional de Lâmpadas Recebidas para Reciclagem em Cooperativas da Cidade de Porto Alegre**. In: VI Seminário Internacional De Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos - SIREE, 2023, Rio de Janeiro.

SANTOS, E. C. A. **Avaliação Técnica, Econômica e Ambiental Para Recuperação de Materiais a Partir de Lâmpadas LED Pós-Consumo**. 2021. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2021.

SANTOS, E. C. A. *et al*. **Beneficiamento de Lâmpadas LED** Inservíveis em uma Cooperativa de Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos. Mix Sustentável. v. 8, n. 4, p. 63-67, 2022.

SCHNORR, N. R. L. *et al*. **Gestão de Lâmpadas LED Pós Consumo: Como A Falta de uma Legislação Específica Pode Causar Danos ao Meio Ambiente**. In: XXV Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente - ENGEMA, 2023, São Paulo.

ZHUANG, W. Q. *et al*. **Recovery of critical metals using biometallurgy**. Current Opinion in Biotechnology. v. 33, p. 327-335, 2015.

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO EM LAVRAS DA MANGABEIRA-CE COM TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

1Cinthya Santos da Silva, 2Anderson Rozeno de Oliveira2, 3Luan Ferreira de Araújo Silva, 4Pedro Ruan Taveira Cunha, 5Danilo Moreira Duque

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, e-mail: campus_cajazeiras@ifpb.edu.br

Palavras-chave: Aterro sanitário; Análise multicritério; Lavras da Mangabeira.

Objetivo do Trabalho

Este estudo objetiva elaborar um mapa de aptidão para a implantação de um aterro sanitário na cidade de Lavras da Mangabeira – CE, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Análise Multicritério (AHP). Assim, a pesquisa busca identificar áreas apropriadas com base em critérios técnicos, como declividade, proximidade de corpos d'água, tipo de solo e infraestrutura viária, garantindo um local ambientalmente adequado e sustentável para um aterro. Dessa forma, espera-se que o seguinte trabalho se torne uma ferramenta que contribua para a gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos, reduzindo os impactos ambientais e fornecendo informações relevantes para futuras pesquisas na área.

Metodologia

Este estudo irá utilizar o Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Análise Multicritério (AHP) para identificar áreas adequadas à implantação de um aterro sanitário em Lavras da Mangabeira – CE, seguindo as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e normativas ambientais da ABNT.

Os dados serão obtidos de fontes oficiais e processados no software QGIS, o que permitirá a análise espacial dos critérios essenciais para a seleção do local. As principais informações utilizadas incluiriam mapas hidrológicos, que possibilitariam a identificação da rede hidrográfica para evitar impactos sobre os recursos hídricos; dados sobre o uso e cobertura do solo, para analisar a compatibilidade do aterro com as características da ocupação territorial; informações sobre infraestrutura viária, para avaliar as condições de acesso para transporte de resíduos; dados climáticos e de pluviosidade, considerando os impactos ambientais associados às chuvas na área de estudo; declividade do solo, fundamental para garantir a estabilidade do terreno e evitar processos erosivos; e densidade populacional, importante para definir a proximidade com áreas urbanas e, assim, minimizar impactos sociais e ambientais.

A seleção das áreas mais adequadas baseara-se na Análise Hierárquica de Processos (AHP), considerando critérios técnicos e ambientais estabelecidos pela CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e demais normativas ambientais. Serão priorizadas áreas que respeitam um afastamento mínimo de 200 metros de corpos d'água, incluindo nascentes temporárias e perenes, para evitar riscos de contaminação hídrica, conforme o Art. 3º, VIII da CPRH. O tipo de solo considerado ideal apresenta baixa permeabilidade, com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s, área não saturada com espessura superior a 3,0 metros, assegurando estabilidade e minimizando a infiltração de contaminantes, conforme os Artigos 3º, XI e XII. Também foi observada a necessidade de o aterro estar a uma distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais, a fim de reduzir impactos sobre a população e manter a viabilidade logística do transporte de resíduos, conforme o Art. 3º, XV.

A localização em relação à infraestrutura viária também foi considerada essencial, sendo exigida uma distância mínima de 100 metros e máxima de 1000 metros da faixa de domínio de rodovias, o que garante acesso adequado para o transporte dos resíduos, conforme o Art. 3º, IV. Outro critério importante foi a declividade do terreno, que deve estar entre 1% e 30%, garantindo estabilidade geotécnica e evitando processos erosivos, conforme o Art. 3º, VI.

Com a sobreposição dessas variáveis, será produzido um mapa de adequabilidade que permitirá identificar as regiões mais viáveis para a implantação do aterro sanitário no município. Dessa forma, assegurará a conformidade com os critérios ambientais e operacionais estabelecidos pelas normativas vigentes, contribuindo para uma gestão mais segura e eficiente dos resíduos sólidos em Lavras da Mangabeira – CE.

Resultados Esperados

Espera-se que, ao final das pesquisas, a análise realizada no software QGIS identifique áreas no município de Lavras da Mangabeira – CE que sejam aptas para a implantação de um aterro sanitário, gerando um mapa de classificação com diferentes níveis de adequação. A partir da aplicação da Análise Multicritério e de outros critérios estabelecidos, espera-se destacar áreas mais viáveis, considerando fatores como distância de corpos d'água, relevo, infraestrutura viária e tipo de solo.

Todos esses resultados devem indicar que as áreas menos adequadas estão localizadas próximas a corpos d'água, regiões de urbanização e terrenos com declividade alta, devido aos riscos estruturais e ambientais. Por outro lado, espera-se que regiões afastadas dos centros urbanos, com solo estável e acesso viário facilitado, sejam classificadas como mais viáveis para a instalação do aterro sanitário. Parte do território pode apresentar média ou baixa aptidão devido a restrições como alta permeabilidade do solo ou dificuldades logísticas, exigindo estudos complementares para avaliar sua viabilidade.

A validação em campo das áreas classificadas como de alta aptidão deverá condizer com os dados espaciais, demonstrando compatibilidade com as condições ambientais e logísticas desejadas. Espera-se ainda que não haja sobreposição com áreas de preservação ambiental ou de alta fragilidade ecológica.

Por fim, os resultados deverão agregar para uma gestão mais eficiente dos resíduos sólidos no município, fornecendo subsídios técnicos para a escolha do local mais adequado para a instalação do aterro sanitário. Além disso, almeja-se, também, que a metodologia utilizada possa ser integrada em outros municípios, promovendo um planejamento sustentável e regionalização da gestão de resíduos sólidos.

Conclusões

Os resultados desta pesquisa demonstrarão a viabilidade da aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Análise Hierárquica de Processos (AHP) para seleção de áreas aptas à implantação de um aterro sanitário, seguindo às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e outras normativas ambientais. Na cidade de Lavras da Mangabeira - CE, a integração de critérios técnicos (como tipos de solo, declividade, distância de corpos d'água e infraestrutura viária) irão contribuir para identificar zonas de alta aptidão que coincidirão com os requisitos de estabilidade do solo, proteção hídrica e operacionalidade logística. Dessa maneira, a validação em campo confirmaria a precisão dos resultados, que permitiria evidenciar que as áreas mais adequadas para minimizar impactos socioambientais são aquelas distantes de núcleos urbanos, com solos de baixa permeabilidade e acesso viário adequado.

Os resultados reforçarão a importância do planejamento espacial, sendo eficaz no controle residual, promovendo a redução de passivos ambientais e riscos à saúde pública. Ademais, o método de análise que será adotado se mostra replicável em outros municípios de porte similar ao lavrense, especialmente na região semiárida do Nordeste, pois, devido à escassez hídrica sazonal, os requisitos de seleção de áreas exigem mais rigor. Contudo, para a implementação total de um aterro, exigem outras etapas, como estudo geotécnicos mais detalhados, comunicação com comunidades próximas e monitoramento contínuo, assim garantindo que as legislações vigentes estão sendo seguidas.

Esse estudo pretende oferecer subsídios técnicos para a tomada de decisão municipal, a fim de desenvolver a transição de lixões para sistemas de disposição final adequados. Ademais, destaca-se o papel estratégico do SIG no planejamento urbano, que possibilitará a viabilização harmônica do desenvolvimento e da conservação ambiental. Por fim, futuros trabalhos podem implementar outras variáveis aos critérios de seleção - variáveis socioeconômicas, climáticas, etc. - possibilitando a ampliação da gestão de resíduos frente aos desafios da atualidade.

Referências Bibliográficas

ABREU, M. F.; ALMEIDA, M. F.; 2020. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 1, p. 1-12.

ALMEIDA, P. R.; COSTA, L. F.; 2018. Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multicritério: uma proposta metodológica. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 150 f.

BRASIL. Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH); 2021. Instrução Normativa CPRH nº 008/2021. Disponível em: https://www.cnmp.mp.br/portal/images/CMA/residuos/23_InstrucaoNormativaCPRH008_2021.pdf. Acesso em: 17 de fevereiro de 2025.

GOMES, R. C.; FERREIRA, L. M.; 2019. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG). Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 3, p. 567-578.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); s.d. Lavras da Mangabeira – CE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/lavras-da-mangabeira.html. Acesso em: 20 fev. 2025.

MARTINS, S. R.; SILVA, E. T.; 2018. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudo de alternativas locacionais para implantação de aterro sanitário. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 4, p. 789-800.

REZENDE, F.; SILVA, G. H.; 2016. Áreas potenciais para implantação de aterro sanitário em Ilha Grande – RJ. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 4, p. 1234-1245.

SANTOS, M. A.; LIMA, C. R.; 2014. Avaliação do processo de implantação do aterro sanitário no município de Ribeirão das Neves – MG. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo.

SOUZA, L. C.; FERNANDES, E. A.; 2018. Gestão ambiental e a problemática dos resíduos sólidos domésticos na área rural do município de São João – PR. Revista Administração Pública e Gestão Social, v. 10, n. 3, p. 123-135.

WEBER, E.; SILVA, R. F.; 2012. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua de dados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 234-245.

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E HIDRÁULICAS DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM AGREGADO SIDERÚRGICO

1Júlia Chaves Borges, 2Felipe Fonseca Bastos, 3Leandro Willian Silva Brito, 4Perboyre Barbosa Alcântara, 5Teresa Raquel Lima Farias.

1,3, 4 e 5 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Fortaleza, julia_chaves@yahoo.com.br; leandro.willian06@aluno.ifce.edu.br; perboyre@ifce.edu.br; teresafarias@ifce.edu.br 2 Faculdade de Engenharia do Porto,FEUP,Portugal, fellipe.fbastos@gmail.com

Palavras-chave: Agregado siderúrgico *BSSF;* Concreto permeável; Propriedades mecânicas e hidráulicas.

Resumo

Com o avanço da urbanização, as superfícies tornam-se cada vez mais impermeáveis, agravando os desafios da drenagem urbana. Esse fenômeno intensifica os impactos ambientais, econômicos e sociais, exigindo soluções eficazes para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas. Neste contexto, o concreto permeável se apresenta como uma alternativa com potencial de contribuir para a redução dos impactos da impermeabilização do solo, favorecendo uma drenagem mais eficaz e sustentável. O presente artigo objetiva analisar características mecânicas e hidráulicas do concreto permeável produzido com o agregado siderúrgico de escória de aciaria, um coproduto siderúrgico proveniente do processo *BSSF* (*Baosteel's Slag Short Flow*). Para isso, os materiais utilizados incluíram cimento CP III 32 RS, agregado natural, agregado siderúrgico *BSSF* e aditivo redutor de água Tipo 2 (RA2) Foram testados três diferentes traços: 100% agregado siderúrgico, 50% agregado siderúrgico e 50% agregado natural e 100% agregado natural. Para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão foram moldados seis corpos de prova para cada traço, conforme a norma ABNT (2015) Ambas as resistências foram avaliadas aos 28 dias de cura. Além disso, foram analisadas a condutividade hidráulica e a porosidade em placas de concreto permeável de 35 cm de comprimento, 35 cm de largura e 6 cm de espessura confeccionadas com o objetivo de aplicação em áreas destinadas ao tráfego de pedestres. Em relação aos resultados, às características mecânicas, com o traço com 100% agregado siderúrgico apresentou resistência à tração na flexão média de 2,95 MPa (≥2 MPa) e resistência à compressão média de 8,26 MPa. Para o mesmo traço a condutividade hidráulica obtida foi de 1,92 × 10^{-2} cm/s (>10^{-3}cm/s) e a porosidade de 22%, ambos valores atendem aos critérios exigidos pela ABNT (2015) e ACI 522 R (2006). Ao substituir o agregado natural pelo siderúrgico, verificou-se que o concreto produzido com 100% de agregado siderúrgico *BSSF* apresentou desempenho mecânico superior, maior condutividade hidráulica e melhor porosidade, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável para a produção de concreto permeável.

Introdução

Com o avanço da urbanização e a intensa expansão das infraestruturas de transporte, a utilização de pavimentos convencionais tem substituido o solo natural permeável por superfícies impermeáveis, comprometendo sua capacidade de infiltração de água, agravando os desafios relacionados à drenagem urbana. Esse processo intensifica os impactos ambientais, econômicos e sociais, tornando necessária a implementação de soluções eficazes para a gestão das águas pluviais em áreas urbanas. Neste contexto, o aumento da conscientização ambiental e o conceito de desenvolvimento de baixo impacto têm ganhado crescente relevância (DEBNATH; SARKAR, 2020).

O concreto permeável é reconhecido como um material sustentável devido aos seus benefícios ambientais, como a capacidade de infiltrar e purificar a água da chuva e a redução do ruído do tráfego. Dessa forma, ele surge como uma alternativa promissora para mitigar os impactos negativos causados pela impermeabilização excessiva das superfícies nas áreas urbanas (NGOHPOK *et al*., 2018).

Dentre os benefícios ambientais do concreto permeável destaca-se: o controle do escoamento de águas pluviais, a restauração e abastecimento de água subterrâneas, a redução da poluição da água e do solo, podendo reduzir também o efeito da ilha de calor urbana e o ruído acústico em estradas (LORENZI *et al*., 2018).

Para melhorar as propriedades mecânicas e inserir materiais sustentáveis alternativos como substituição de agregados naturais do concreto permeável, o método mais comumente usados pelos pesquisadores é adicionar alguns aditivos, diferentes tipos de agregados e ligantes, em que são usados para produzir concreto permeável, tornando-se mais econômico e ecologicamente correto (CHEN *et al*., 2020). Atualmente, algumas categorias principais de aditivos e vários materiais residuais adicionados ao concreto permeável, são: (1) fibra, (2) polímero, (3) agregados reciclados, (4) escória de forno elétrico a arco, (5) clicker de óleo de palma (6) tijolos queimados, (7) materiais como borrachas de pneus usados, (8) resíduos de vidro, (9) cinzas de carvão, (10) subprodutos de conchas e cinzas de fundo (DANG *et al*., 2013), dentre outros.

Diante desse cenário, percebe-se que diversos resíduos, como os provenientes da construção civil e da indústria siderúrgica, têm sido estudados nos últimos anos, visando sua aplicação como substitutos parciais ou integrais dos materiais naturais (VARDAKA *et al.,* 2014). Esses estudos exploram alternativas sustentáveis para a destinação adequada desses resíduos, transformando-os em coprodutos de valor econômico, como as escórias de alto forno e aciaria. Essa abordagem

não apenas contribui para a redução da extração de matérias-primas naturais, mas também promove a inserção de resíduos na cadeia produtiva da construção civil, fortalecendo práticas mais sustentáveis no setor (CARTAXO *et al*., 2023).

Dessa forma, a reciclagem de resíduos industriais para uso como materiais de pavimentação tem sido considerada uma estratégia de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), devido aos problemas decorrentes do rápido crescimento da urbanização, como a escassez de agregados naturais e o acúmulo de subprodutos industriais (CHANG *et al*., 2019).

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo contribuir para o conhecimento do comportamento mecânico e hidráulico do concreto permeável produzido com a substituição parcial e total do agregado natural pelo agregado siderúrgico, obtido pelo processo *BSSF* (*Baosteel's Slag Short Flow/* Fluxo Curto de Escória da Baosteel). O concreto desenvolvido é destinado à aplicação em pavimentos permeáveis para tráfego de pedestres, atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos pela ABNT (2015).

Material e Métodos

Neste trabalho, foram utilizados dois tipos de agregados: o agregado natural e o agreagado siderúrgico, este último obtido por meio do processo do processo *BSSF*. O agregado natural foi fornecido pela empresa Nordeste Mineração - Nordbrita, localizada no município de Maracanaú, na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), no Estado do Ceará. Na pedreira, foram realizados os procedimentos de seleção e separação dos agregados graúdos naturais, com base nas dimensões recomendadas pela ACI 522 R (2006) para a produção do concreto permeável. Conforme ilustrado na Figura 1, para a coleta do material (a), foram estabelecidas faixas de tamanho entre 6,3 mm a 12,5 mm (b).



Figura 1: Local de coleta (a) e seleção (b) do agregado natural.

O agregado siderúrgico produzido pelo processo *BSSF* foi obtido a partir de doação proveniente da empresa Sudamin Refratário Nordeste LTDA, localizada no município de São Gonçalo do Amarante, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), distante aproximadamente 62 km de Fortaleza. A Figura 2a apresenta o local de coleta do material (a) e, em seguida, o processo de separação da amostra por meio de um peneirador elétrico, realizado no próprio local Figura 2b.



Figura 2: Local da coleta de material do agregado siderúrgico BSSF (a) e separação das amostras (b).

Posteriormente, em laboratório foram feitos procedimentos de pesagem do material em peneirador elétrico, contendo peneiras com as seguintes aberturas: 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm e 4,8 mm, com objetivo de atender a granulometria dos materiais utilizados em pesquisas anteriores (Pimentel *et al*., 2023) para posterior caracterização da amostra. Os materiais superiores a 12,5 mm e inferiores a 4,8 mm foram descartados, inicialmente. Ensaios de caracterização física (granulometria, massa específica e unitária, absorção de água e teor de material pulverulento) dos agregado natural e siderúrgico foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do *campus* Fortaleza, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Para o entendimento da composição química do agregado siderúrgico análises de Fluorescência de Raio X e Difração de Raio X (FRX e DRX) foram realizadas no laboratório de Raio X, no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará – UFC.

Em seguida, foi calculada a dosagem do concreto para a produção do concreto permeável em que definiu-se os traços de concreto com 100% de agregado siderúrgico, 100% de agregado natural e 50% de agregado siderúrgico e 50% de agregado natural (Tabela 1), a partir dos quais foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento para a realização de ensaios de determinação da resistência à compressão (Figura 3a) e seis prismáticos de 50 cm de comprimento por 15 cm de largura e 15 cm de altura para tração na flexão (Figura 3b), além de três placas de concreto permeável (c), com intuito de analisar a condutividade hidráulica (Figura 3c) e a porosidade, conforme as metodologias descritas em ABNT (2015) e ASTM (C1754/12), respectivamente.

Tabela 1: Proporções dos traços e consumo de materiais utilizados

Identificação	Traço	Consumo e materiais em kg/m³				
		Cimento	Agregado Siderúrgico	Agregado natural	Água	Aditivo super-plastificante
Concreto 100% Agregado siderúrgico	1:0:3,64:0,40	41,78	152,20	0,0	16,71	0,06
Concreto 100% Agregado natural		41,78	0,0	152,20	16,71	
Concreto 50% Agregado siderúrgico e 50% Agregado natural		41,78	76,10	76,10	16,71	

Fonte: Autora (2025)

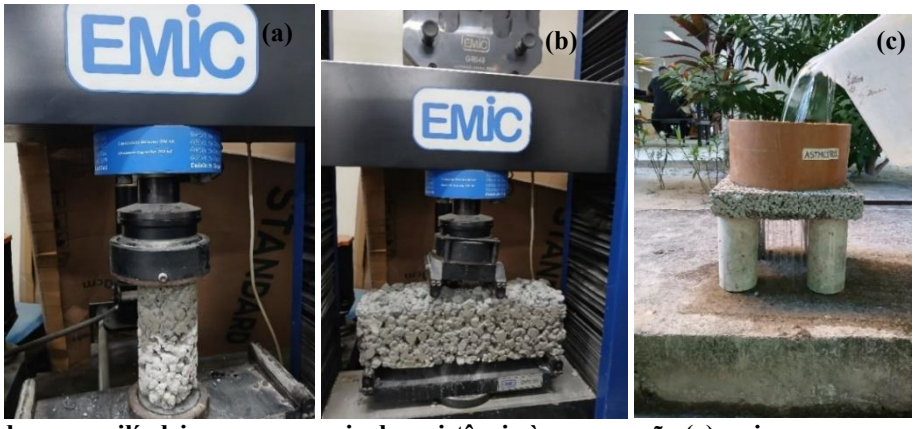


Figura 3: Corpos-de-prova cilíndrico para o ensaio de resistência à compressão (a), prisma para ensaio de resistência a tração na flexão (b) e placa de concreto permeável para ensaio de permeabilidade e porosidade (c).

Resultados e Discussão

Determinou-se a composição granulométrica referentes aos agregados natural e siderúrgico, segundo a NBR 17054 (ABNT, 2022). Observa-se que as porcentagens das amostras de agregados acumulados estão dentro da faixa de estudo de 4,8 mm a 12,5 mm., apresentadas na Figura 4.

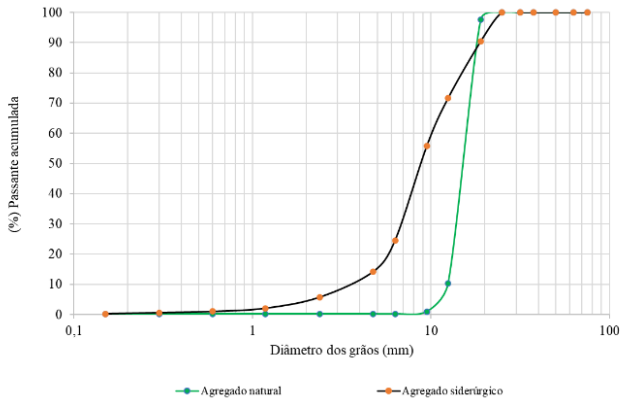


Figura 4: Composição granulométrica dos agregados.

A massa específica e absorção de água do agregado natural e siderúrgico foram medidas segundo NBR 16.917 (ABNT, 2021). Observou-se que a massa específica do agregado natural é inferior à do agregado siderúrgico, isso se deve ao fato de que o agregado siderúrgico é originado do aço que possui uma densidade de 7,85 g/cm³, o que resulta em um aumento na massa

específica do agregado siderúrgico, em comparação com o agregado natural, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de massas específicas, massa unitária e de absorção de água dos agregados

Característica	Agregado natural	Agregado siderúrgico
Massa específica seca (g/cm³)	2,67	3,36
Absorção de água (%)	2,60	2,29
Massa unitária solta (kg/m³)	1460	1820
Massa unitária compactada (kg/m³)	1580	-

Fonte: Autora (2025)

O valor de massa unitária no estado solto do agregado siderúrgico foi superior ao do agregado natural, devido à forma mais irregular dos agregados siderúrgicos e à presença de partículas com densidades maiores do que as dos grãos do agregado natural o que aumentou o volume de vazios das placas de concreto permeável produzidas com resíduos *BSSF*.

Os resultados da composição química do agregado siderúrgico obtidos por meio da Fluorescência de Raio X (FRX) são apresentados (Figura 5).

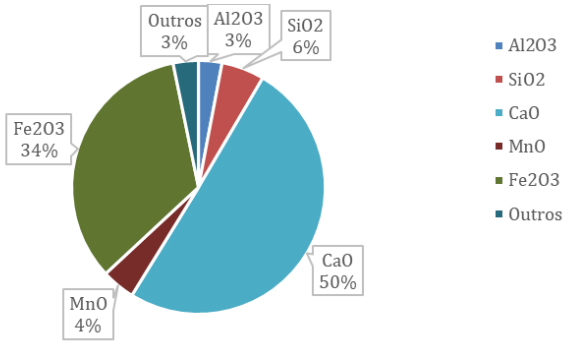


Figura 5: Representação do FRX das amostras dos agregados siderúrgicos analisados.

Com base nos resultados de fluorescência de raio X, observou-se que os óxidos mais abundantes nas amostras analisadas foram o óxido de cálcio (CaO), óxido de ferro III (Fe2O3), dióxido de silício (SiO2) e óxido de alumínio (Al2O3). A soma desses óxidos totalizou 99% da composição de cada amostra, com o agregado siderúrgico apresentando aproximadamente 50% de óxido de cálcio (CaO) e 33% de óxido de ferro (Fe2O3). Outros elementos também estavam presentes a exemplo, magnésio, mas em quantidades menores.

Na (Figura 6a), apresenta-se os resultados de resistência à compressão para os três traços elaborados, obtidos após 28 dias de cura dos corpos-de-prova. Observa que a mistura desenvolvida com a substituição de 100% agregado siderúrgico e natural, resultou em uma resistência à compressão de 8,26 MPa, 2,91 MPa e 3,58 MPa. Esse valor aferido de resistência é devido ao alto índice de vazios característico do concreto permeável, o que caracteriza como de baixa resistência.

A resistência à compressão encontra-se muito próxima ao limite inferior da faixa de valores verificados na literatura, em que a resistência à compressão de concretos permeáveis apresentou variação entre 4,1 MPa e 55,8 MPa, conforme Batezini (2012).

Quanto à resistência à tração na flexão, o traço elaborado com 100% de agregado siderúrgico apresentou uma média de 2,95 MPa, já o traço elaborado com 100% de agregado natural a média foi de 1,52 MPa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**b). De acordo com a ABNT NBR 16416 (ABNT, 2015), para concreto destinado a tráfego de pedestres com espessura mínima de 60 mm, a resistência mecânica à tração na flexão deve ser igual ou superior a 2,0 MPa, resultando em um valor compatível com o mínimo exigido pela norma para o traço 100% *BSSF*.

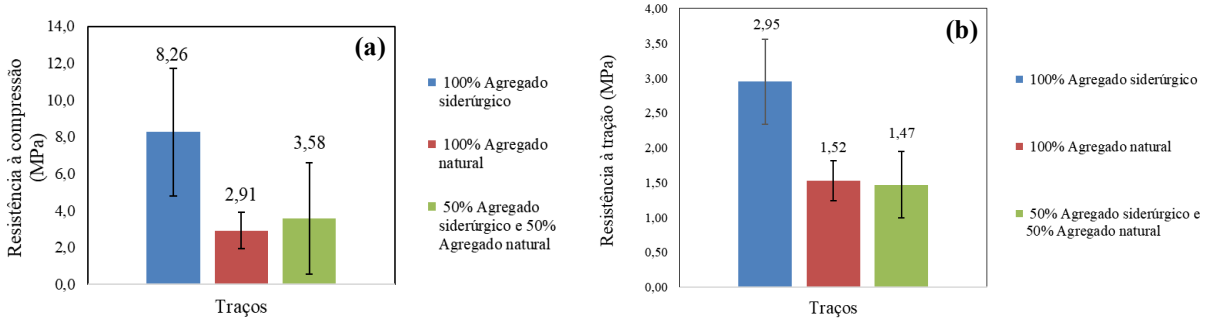


Figura 6: Resistência à compressão dos cilíndricos produzidos (a) e resistência à tração dos corpos-de-prova prismáticos (b).

São apresentados na (Figura 7a) os resultados do ensaio de permeabilidade, assim como os valores de desvio padrão das três placas dos concretos permeáveis. Os resultados médios dos ensaios executados seis vezes em cada placa de concreto permeável, após 28 dias, atenderam aos requisitos da norma NBR 16416 (ABNT, 2015), sendo o valor mínimo aceitável pela norma de $>10^{-3}$ m/s. Quando comparados aos dados de outros autores, a exemplo, Pimentel *et al*. (2023) e dentro da faixa de valores recomendada por Portland Cement Association (2004), em que a faixa de permeabilidade deve estar entre 0,0013 mm/s e 0,0122 mm/s.

Quanto à porosidade, o traço desenvolvido com 100% de agregado siderúrgico apresentou 22% de porosidade, o que atendeu a norma ACI 522-R (2006), em que a porosidade do concreto permeável deve variar entre 18 a 35% do seu volume total e pode estar relacionado à forma irregular dos seus grãos (Figura 7: coeficiente de permeabilidade das placas (a)

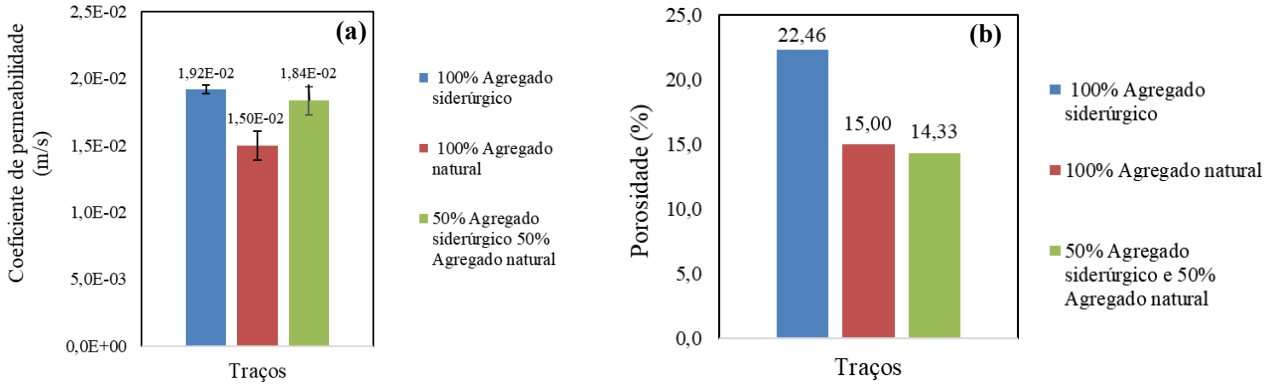


Figura 7: coeficiente de permeabilidade das placas (a) e valores da porosidade de cada traço confeccionado (b).

Conclusão

Os esforços realizados no âmbito dessa pesquisa permitem extrair as seguintes conclusões:

O traço com 100% agregado siderúrgico foi o que apresentou melhor resistência à compressão, tração na flexão, coeficiente de permeabilidade e porosidade, comparativamente aos traços desenvolvidos com agregados naturais e aos critérios normativos analisados.

Os resultados referentes a resistência à compressão foram de 8,26 MPa, 2,91 MPa e 3,58 MPa para os traços 100% agregado siderúrgico, 100% agregado natural e 50% agregado siderúrgico e 50% agregado natural, respectivamente. Embora a norma NBR 16.416 (ABNT, 2015), não especifique para placa de concreto permeável, valores de resistência à compressão, no entanto, obteve-se valores mínimos estabelecidos pelo ACI 522 R (2006), de 2,8 MPa a 28 MPa.

Sobre a resistência à tração na flexão, os valores atenderam aos ≥ 2 MPa, exigidos por norma NBR 16.416 (ABNT, 2015), para o traço 100% agregado siderúrgico, que resultou em 2,95 MPa, podendo ser utilizado para tráfego de pedestres, por ter espessura mínima de 60 mm. Porém, os traços 100% agregado natural e 50% agregado siderúrgico e 50% agregado natural, que apresentaram valores de 1,52 MPa e 1,47 MPa, respectivamente, não atenderam ao critério normativo.

Sobre a propriedade da permeabilidade, os resultados desta pesquisa mostraram-se de acordo com a faixa estabelecida nos estudos de alguns autores. Aferindo um coeficiente de permeabilidade de 1,92 $x10^{-2}$ m/s para o traço 100% agregado siderúrgico, 1,50 $x10^{-2}$ m/s para 100% agregado natural e 1,84 1,50 $x10^{-2}$ m/s para a mistura de 50% agregado siderúrgico e 50% agregado natural. Todos os traços de concreto permeável, com ou sem *BSSF* apresentaram coeficientes de permeabilidade dentro do recomendado, conforme a NBR 16.416 (ABNT, 2015). Em que o coeficiente de permeabilidade deve ser maior que 10^{-3} m/s

Quanto a porosidade o concreto permeável elaborado nos três traços, resultou em 22,46%, 15% e 14,33% para os traços 100% agregado siderúrgico, 100% agregado natural e 50% agregado siderúrgico e 50% agregado natural, respectivamente. Contudo, para ACI 522 R (2006), a porosidade do concreto permeável é um material que deve apresentar um índice de vazios de 18 a 35% do seu volume total, aferindo assim que apenas o traço 100% BSSF foi aceitável pela norma.

Diante dos dados expostos, o concreto drenante com incorporação de agregado siderúrgico produzido nesta pesquisa atendeu em partes às especificações da NBR 16416 (ABNT, 2015). Além disso, está dentro dos limites aceitáveis pela ACI 522 R (2006) para o uso em pavimentação de tráfego de pedestres. Esse material pode ser aplicado em áreas de jardins, calçadas com pouco fluxo de pedestres, tampas de valas e bueiros, possibilitando a eliminação de poças e lâminas d´água em dias de precipitação pluviométrica.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa de pós-graduação concedida à primeira autora, a Universidade Federal do Ceará pelos ensaios químicos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento através do projeto "Avaliação de técnicas compensatórias de baixo impacto para o manejo de águas pluviais urbanas" (CNPq 405958/2023-4).

Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **522R-06: Pervious Concrete.** Farmington Hills, Michigan, 2006. 25 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1754 / C1754M:** Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. West Conshohocken, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054:** Agregados: Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio. 1.ed. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917:** Agregado graúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. 1.ed. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto: Requisitos e procedimentos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2015.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012

CARTAXO, F. M.; FERREIRA, F. G. S.; FREITAS, K. M. G.; NASCIMENTO, L. C.; GUILGE, M. S.; ZANETTI, C. Propriedades mecânicas de concretos sustentáveis com incorporação de escória de aciaria *BSSF* em substituição aos agregados naturais. **Revista Principia**, v. 60, n. 4, p. 1413–1433, 2023.

CHEN, X.; GUOTONG, W.; QIAO, D; XIAO, K. Z.; YANG, W. Microscopic characterizations of pervious concrete using recycled Steel Slag Aggregate. **Journal of Cleaner Productions**, v. 254, p. 120149, 2020.

DEBNATH, B. & PARTHA, P. S. Pervious concrete as an alternative pavement strategy: a state-of-the-art review. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 21, n. 12, p. 1516 - 1531, 2020.

LORENZI *et al*., Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. **Ibracon Structures and Materials Journal**, v.11, n. 5, p. 1151 -1159, 2018.

NGOHPOK, C; SATA, V.; SATIENNAM, T.; KLUNGBOONKRON, P.; CHINDAPRASIRT, P. Mechanical properties, thermal conductivity, and sound absorption of pervious concrete containing recycled concrete and bottom ash aggregates. **KSCE Journal Civil Eng**, v. 22, p. 1369–76, 2018.

ESTUDO DA REMOÇÃO DE PELÍCULA DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

1Fernanda Cardoso Pereira, 2Débora Machado de Souza, 3Emanuele Caroline Araujo Eschtiler, 4Carlos Alberto M. Moraes

1Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Campus São Leopoldo, e-mail:fnandacpereir@gmail.com.br;2Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Campus São Leopoldo, e-mail: deboramachadosouza@yahoo.com.br;3 Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Campus São Leopoldo, e-mail: emanuelecarolinearaujo@gmail.com br;4 Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Campus São Leopoldo, e-mail: cmoraes@unisinos.br

Palavras-chave: Resíduos de placas de circuito impresso (RPCI), Valorização de resíduos, Sustentabilidade

Introdução

Segundo a pesquisa publicada no ano de 2024 pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) o Brasil tem 480 milhões de dispositivos digitais em uso, entrando nessa categoria há computadores, *notebooks*, *tablets* e *smartphones*, ou seja, uma média de 2,2 aparelhos por habitante, seja para uso corporativo ou doméstico. As placas de circuito impresso (PCI's) são placas condutoras utilizadas como base para diversos equipamentos eletrônicos. As PCI's são comumente encontradas em aparelhos como *smartphones*, *notebooks*, câmeras e computadores. Os resíduos de placas de circuito impresso (RPCIs) têm se tornado um problema ambiental crescente devido ao aumento no consumo de equipamentos eletroeletrônicos. Embora contenham metais valiosos como ouro, prata, paládio e cobre, também possuem substâncias tóxicas — como retardadores de chama bromados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, além de metais pesados — que representam riscos ao meio ambiente e à saúde humana quando descartadas incorretamente. (FRANCO; BARROS, 2016, p.1). Em 2013 o Instituto Brasileiro de defesa do consumidor publicou uma cartilha de informação sobre o ciclo de vida dos eletrônicos mais utilizados pela população Brasileira. Nos dados apresentados a média de vida útil de um dispositivo eletrônico como um *smartphone*s é de 5,3 anos, porém o tempo médio de posse do aparelho é de 2,6 anos. Os dados da cartilha indicam um padrão de descarte muito mais rápido destes aparelhos, que muitas vezes é feita de maneira incorreta e causando danos ao meio ambiente e à saúde humana. Os processos utilizados na valorização de RPCI incluem métodos pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos e biotecnológicos, além de combinações entre eles. Os processos pirometalúrgicos exigem altos investimentos devido às temperaturas elevadas. O hidrometalúrgico envolvem múltiplas etapas, como lixiviação e purificação. Os biotecnológicos empregam microrganismos em biolixiviação ou biossorção (FRANCO; BARROS, 2016,p.2). Considerando as informações apresentadas, o presente trabalho busca analisar métodos para caracterizar e estudar amostras de RPCI's a partir da remoção da película de placas de circuito impresso, com a intenção em pesquisas futuras, avaliar a viabilidade de valorização desse tipo de resíduo por meio de técnicas hidro e pirometalúrgicas e biotecnológicas, isoladas e/ou combinadas. Dessa forma, busca-se reduzir possíveis interferências provocadas pela película — usualmente composta por materiais orgânicos, como a resina epóxi — nas atividades microbiológicas, além de possibilitar maior exposição ao metal, que é uma característica importante durante essa etapa (XAVIER, et al, 2023.).

Metodologia

Para o estudo foram utilizados RPCI's que já se encontravam no laboratório de REEE da Universidade do vale dos sinos – Unisinos. A metodologia utilizada no estudo seguiu as seguintes etapas:

Etapa 1: Catalogação, registros fotográficos e pesagem antes da limpeza das placas;

Etapa 2: Preparação das RPCIs, através da limpeza com álcool isopropílico e pesagem após a limpeza das placas;

Etapa 3: FRX de mapeamento em Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, Modelo EDX 720 Shimadzu, localizado no LCVMat, na Universidade do vale dos sinos – Unisinos.

Etapa 4: Remoção dos componentes, testes de remoção de solda e redução das partes (por corte);

Etapa 5: Testes de remoção da película: teste com acetona (90% - 60% I,II,III) e teste de remoção física (raspagem da base de forma manual);

Etapa 6: Análise de Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), realizada para identificação dos grupos funcionais existentes na amostra da película de RPCIs retirada manualmente, em um espectrômetro de FTIR ATR da marca Agilent modelo 630 com cristal de ZnSe e feixe simples, localizado no Laboratório de Biologia Molecular e Toxicologia na Unisinos.

Resultados

Para as duas primeiras etapas, as RPCI's (Figura 1) foram identificadas de acordo com etiquetas ou números da própria placa. Posteriormente receberam números para melhor identificação durante o manuseio.



Figura 1: PCI's utilizadas



Figura 2: Soldas removidas

As massas obtidas na pesagem antes e depois da limpeza encontram-se no Quadro 1. É possível perceber que todas as 14 placas sofreram redução de massa após o processo de limpeza com álcool isopropílico. A redução pode estar relacionada com o acúmulo de poeira e material oxidado sobre as placas. As placas 9, 11, 12 13 e 14 passaram pelo processo de remoção dos componentes que estavam em sua superfície, respectivamente, foram removidos: 34,55g; 39,00g; 39,47g; 39,46g e 51,78g. Na Etapa 3 os resultados da análise de FRX da amostra indicou a presença majoritária (>50%) do elemento Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Bromo (Br). Em menor quantidade (5% < x <50%) foram encontrados o Silício (Si); Estanho (Sn); Chumbo (Pb); Enxofre (S) além de também ser encontrado o Cobre e Bromo. Os elementos traços (<5%) que apareceram foram o Cálcio (Ca); Ferro (Fe); Escândio (Sc); Manganês (Mn); Tântalo (Ta); Titânio (Ti); Prata (Ag); Bismuto (Bi); Frâncio (Fr); Césio (Cs); Cobalto (Co) e Actínio (Ac). A retirada das soldas, descrita na Etapa 4, foi realizada de forma manual utilizando alicate de corte. Desta forma, foi possível retirar amostras das soldas das 3 placas, em que estas foram caracterizadas quanto a composição química e características térmicas. A Figura 2 ilustra as soldas que foram retiradas de uma das placas (RPCI 1). O teste de Redução das partes da PCI 's foi o processo de corte das placas, feito utilizando uma tesoura para cortes de chapa do tipo funileiro. O corte foi feito para melhor utilizar as placas durante os testes de acetona.

Quadro 1 - Massas obtidas na pesagem antes e depois da limpeza (retirada de dispositivos e materiais)

RPCI's	Antes (g)	Depois (g)	Redução de massa (%)
1	21.720	21.694	0,12
2	21.932	21.916	0,07
3	14.331	14.304	0,19
4	22.719	22.649	0,31
5	22.272	22.259	0,06
6	15.155	15.127	0,18
7	16.242	16.196	0,28
8	16.249	16.216	0,20
9	50.488	50.329	0,31
10	21.850	21.775	0,34
11	23.275	23.165	0,47
12	135.483	135.37	0,08
13	97.952	97.894	0,06
14	155.951	155.894	0,04

Fonte: Elaborado pelos autores

Na Etapa 5, foram realizados testes de remoção da película protetora, com C_3H_6O e as condições das amostras, encontram-se no Quadro 2. Foram realizados testes com a acetona 99,5 % e 60%, com e sem agitação, em períodos diferentes. Também foram realizados testes com recipiente fechado e aberto com o objetivo de avaliar a evaporação e perda da acetona.

Quadro 2 – Testes com acetona

Teste	Acetona (%)	Volume (ml)	Condições da amostra	Massa (g)	Agitação	Tempo	Recipiente
1	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	2,0302	4	15 min	Aberto
1	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	2,0302	4	30 min	Aberto
1	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	2,0302	4	45 min	Aberto

1	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	2,0302	4	60 min	Aberto
2	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	2,0302	4	75 min	Aberto
3	99,5	25	RPCI sem componentes e sem soldas	3,3062	Não	24 h	Aberto
4	60,0	30	RPCI sem componentes e com soldas	1,0628	4	3 h	Fechado
5	60,0	30	RPCI sem componentes e com soldas	1,5941	Não	24 h	Fechado
6	60,0	30	Película raspada manualmente (pó)	2,0000	4	3 h	Fechado

Fonte: Elaborado pelos autores

Não foram evidenciadas alterações significativas nas amostras, após os testes com acetona, o que sugere que a acetona 99,5 % ou 60% não é a substância adequada para a remoção química da película protetora das RPCIs. Após a falha no teste de acetona, para continuar a avaliação e estudo foi necessário retirar a película por outro meio, com isso, foi realizada a retirada manual da película pelo modo "raspagem" da base até remover toda parte da película, após esse processo a amostra da raspagem foi utilizada para o teste de FTIR (Etapa 6) para identificação dos grupos funcionais existentes na amostra. Os resultados da FTIR indicaram a presença do Grupo hidroxila (–OH); Grupo carbonila (C=O); Ligações C–H em cadeias alifáticas; e possíveis grupos C–O. Essas combinações são comuns em compostos orgânicos como: ácidos carboxílicos, cetonas e álcoois com função carboxílica; e Ésteres.

Considerações Finais

Os primeiros resultados apresentados demonstram que as PCIs têm grande complexidade no que tange sua reciclagem, na separação física dos muitos dispositivos e materiais presentes nela. Diante dos estudos apresentados, pode-se verificar que não houve resultados satisfatórios com a aplicação da acetona, seja 99,5% ou 60%, na degradação da película protetora, sendo necessário novos testes com outros compostos químicos. A retirada de forma manual é uma alternativa viável, porém há extração da solda em conjunto. Contudo, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos e pesquisas, com o intuito de selecionar outros métodos de retirada da película, seja de forma química, física ou biológica. É importante ressaltar que o grupo de pesquisa visa sempre aplicações com o mínimo possível de impactos ambientais negativos, priorizando técnicas nas quais seja possível minimizar ou mitigar os resíduos e/ou efluentes líquidos potencialmente gerados neste tipo de processos de recuperação de metais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica, doutorado e pós-doutorado, ao CNPq (DT2) pelas bolsas de pesquisa. E ao CNPq e FINEP pelos recursos de projeto.

Referências Bibliográficas

FRANCO, Rosana Gonçalves Ferreira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Revisão das técnicas utilizadas na recuperação de metais em resíduos de placas de circuito impresso (RPCI)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, VII, 2016, Campina Grande. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-047.pdf.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Pesquisa revela que Brasil tem 480 milhões de dispositivos digitais em uso, sendo 2,2 por habitante. Portal FGV, Rio de Janeiro, 27 jun. 2024. Disponível em: https://portal.fgv.br/noticias/pesquisa-revela-brasil-tem-480-milhoes-dispositivos-digitais-uso-sendo-22-habitante.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR; MARKET ANALYSIS. *Ciclo de vida de eletroeletrônicos*. São Paulo: IDEC, 2013. Disponível em: https://www.idec.org.br/uploads/testes_pesquisas/pdfs/market_analysis.pdf.

Xavier, L.H.; Contador, L.; Freitas, E.S.; Mofati, L.M.; Silva, R.S.; Fontes, A. **Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil: projeto MINARE : relatório final**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Resíduos Sólidos: Reciclagem, Coleta, Tratamento, Disposição Final e Aterros

8º SSS

POTENCIAL DE TINGIMENTO DE FIBRAS DE POLIAMIDA COM EMPREGO DE EXTRATO DE FOLHAS DE EUCALIPTO

1Louise de Sousa Barbosa, 2Sophia Helena Alves, 3Brenno Henrique Silva Felipe, 4Catia Rosana Lange de Aguiar

1Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: louiselima75@gmail.com; 2Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: sosihalves@gmail.com; 3Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: brenno.henrique@ufsc.br; 3Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: catia.lange@ufsc.br

Palavras-chave: Tingimento natural de poliamida; Extrato de eucalipto; Sustentabilidade.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o emprego do extrato aquoso de diferentes folhas de eucalipto no tingimento de malha de poliamida. O extrato foi obtido de folhas de eucalipto frescas e maduras por meio de uma extração em água fervente. O tingimento foi realizado em máquina de canecos com aquecimento por infravermelho (IR) a 98 °C por 30 min. Os resultados permitiram concluir que é possível aplicar o extrato de folhas de eucalipto como alternativa sustentável no tingimento têxtil.

Introdução

A poliamida é um polímero sintético amplamente utilizado na indústria têxtil devido às suas propriedades mecânicas superiores, como alta resistência à tração, elasticidade, leveza e capacidade de absorção de umidade, que conferem conforto e durabilidade às peças produzidas (OLIVEIRA, 2009). Sua estrutura química, caracterizada por unidades repetitivas contendo grupos amida (–CONH–), favorece interações específicas com corantes. Porém, o tingimento eficiente da poliamida com corantes naturais ainda apresenta desafios técnicos relacionados à fixação e à estabilidade da cor (OLIVEIRA, 2009). A otimização dos processos de tingimento é, portanto, fundamental para ampliar o uso sustentável desses materiais em substituição aos corantes sintéticos convencionais.

Nesse contexto, os corantes naturais têm ressurgido como alternativas promissoras, motivados pela crescente demanda por soluções ambientalmente amigáveis e pela redução dos impactos tóxicos associados aos corantes artificiais (YADAV et al., 2022). Esses pigmentos são extraídos de fontes renováveis, principalmente vegetais, e abrangem diversas classes químicas, como flavonoides, antraquinonas, carotenoides e indigoides, cujas estruturas moleculares influenciam diretamente suas propriedades óticas e sua afinidade com diferentes fibras têxteis (SAMANTA & AGARWAL, 2009; KHAN et al., 2024). A diversidade química desses compostos permite a obtenção de uma ampla gama de tonalidades, embora a estabilidade e o rendimento ainda sejam limitações a serem superadas. O uso de corantes naturais ecologicamente corretos combinados com biomordentes oferece uma abordagem sustentável para o tingimento têxtil, reduzindo o impacto ambiental, mantendo o desempenho do tingimento e a solidez da cor (KHAN et al., 2024).

A exploração de espécies vegetais abundantes, como o eucalipto, apresenta uma oportunidade significativa para o desenvolvimento de corantes naturais eficazes e sustentáveis devido à sua disponibilidade e composição química favorável para extração de pigmentos (YADAV et al., 2022). A integração do conhecimento sobre a química dos corantes naturais com as características específicas da poliamida pode contribuir para o avanço de processos de tingimento mais sustentáveis e eficientes, alinhados às exigências ambientais e de mercado.

Este estudo tem como objetivo investigar o potencial do eucalipto como fonte de corante natural para tingimento de tecidos de poliamida, buscando ampliar o entendimento sobre as interações entre pigmentos vegetais e fibras sintéticas, bem como promover alternativas ecológicas para a indústria têxtil.

Materiais e Métodos

Para este estudo, os seguintes materiais foram utilizados: água, folhas de eucalipto maduras e frescas, leite de soja industrializado (ADES), suco natural de limão cravo e amostras de tecido de estrutura meia-malha de 100 % poliamida. Os experimentos foram conduzidos com o auxílio dos seguintes equipamentos: balança analítica BL (Shimadzu), máquina de tingimento HT IR Dyer TC 2200 (Tex Control), estufa (Lucadema), espectrofotômetro DC 500 (Datacolor), Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), cabine de luz e escala de cinza.

Obtenção do extrato de eucalipto

As folhas de eucalipto utilizadas neste estudo foram coletadas em um sítio localizado no município de Apiúna, no Estado de Santa Catarina. Foram selecionadas folhas frescas e maduras que posteriormente foram submetidas a dois métodos distintos de secagem: secagem ao sol e secagem em estufa. Para a secagem ao sol, as folhas permaneceram expostas à luz solar por aproximadamente 7 dias. Já as folhas secas em estufa foram submetidas a temperatura controlada de aproximadamente 50 °C por um período de 2 h. Após a secagem, as folhas foram trituradas utilizando inicialmente um liquidificador, seguido por um moedor de café, para obter um pó fino e homogêneo. Após a obtenção do pó, este foi peneirado para a remoção de impurezas maiores. O pó obtido pode ser observado na Figura 1. Para cada tipo de folha (1. fresca sem secagem; 2. fresca seca em estufa;

3. madura seca no sol; 4. madura seca em estufa), 20 g do pó resultante foram utilizados na preparação do extrato aquoso. O processo consistiu em misturar o pó com 500 mL de água, onde a mistura foi levada à fervura em uma panela em fogo médio e deixada fervendo até a redução do volume total para 250 mL. Após o resfriamento, o extrato foi submetido à filtração a vácuo utilizando uma bomba de filtração com o objetivo de remover os resíduos sólidos do pó.



Figura 1. Pó obtido após trituração das folhas de eucalipto

Mordentagem do tecido e tingimento

Amostras do tecido de malha 100 % poliamida foram cortadas em amostras padronizadas com peso de 0,5 g cada. Uma parte destas amostras foi mordentada com suco de limão (puro, sem adição de água), outra parte foi mordentada com o leite de soja (puro, sem adição de água) e a terceira parte das amostras foi mantida sem aplicação de mordente. O processo de mordentagem deu-se em relação de banho de 1:10, onde as amostras ficaram submersas em seu respectivo mordente durante 40 min em temperatura ambiente. Após esse tempo, as amostras foram espremidas em foulard sob pressão de 2 bar e velocidade dos cilindros de 2 m/min. Essas amostras úmidas foram conduzidas a uma estufa de secagem em temperatura de 40 °C até estarem completamente secas.

O processo de tingimento por esgotamento foi realizado utilizando o extrato aquoso obtido pelos quatro tipos de folhas de eucalipto, sendo elas:

1. fresca sem secagem;
2. fresca seca em estufa;
3. madura seca no sol; e,
4. madura seca em estufa.

As amostras de tecido foram tingidas em uma relação de banho de 1:20, sendo colocadas individualmente em canecos contendo 10 mL do extrato aquoso de cada um dos tipos de folhas descritas. O tingimento foi conduzido em uma máquina de canecos com aquecimento por I.R. operando por 30 min a uma temperatura controlada de 98 °C. Após o término do processo, os tecidos foram removidos dos canecos, lavados em água corrente, identificados e secos em estufa a uma temperatura de até 50 °C.

Avaliação da intensidade colorística dos tecidos tingidos

Para analisar a intensidade de cor das amostras após o tingimento com os extratos anteriormente citados, a técnica de espectroscopia de reflectância foi empregada utilizando o espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500. As medições foram realizadas no espaço de cores, juntamente com a avaliação do coeficiente de absorção e dispersão (K/S), para quantificar a intensidade da coloração nos diferentes processos. Além disso, a força colorística, os desvios de cor ΔL (diferença na luminosidade), Δa (diferença da cor verde – vermelha, sendo (+) mais vermelho e (-) mais verde), Δb (diferença da cor amarela – azul, sendo (+) mais amarela e (-) mais azul) e ΔE (distância cromática total), bem como a força da cor e a variação do K/S foram determinados, permitindo uma análise detalhada das mudanças cromáticas durante os tratamentos aplicados.

Caracterização dos tecidos por análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Amostras de tecido de poliamida crua, mordentada com limão e mordentada com leite de soja foram avaliadas por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL NeoScope JCM-7000 pertencente ao Laboratório Multiusuário de Caracterização Avançada (LMCA) da UFSC campus de Blumenau. As amostras foram observadas em aumento de 100 × e 500 ×.

Solidez da cor – solidez à lavagem

O procedimento de solidez à lavagem foi realizado a partir de uma adaptação do ensaio A1S da norma ABNT NBR ISO 105 –C06: Solidez da cor à lavagem doméstica comercial. O princípio deste ensaio consiste em submeter a amostra têxtil ao processo de lavação em contato com tecido testemunha. Sendo assim, cada amostra tingida foi costurada entre dois tecidos testemunha de composição 100 % poliamida, sem presença de branqueador óptico.

O procedimento foi realizado em máquina de tingimento HT IR Dyer TC 2200, onde inseriu-se a amostra e suas respectivas testemunhas, além de 150 mL de solução detergente em pó comercial em concentração de 4,0 $g \cdot L^{-1}$ e 10 esferas de aço para maior atrito e circulação do banho. As amostras foram mantidas sob agitação por 30 min em temperatura de 40 °C.

Após o término do procedimento, as amostras foram enxaguadas de forma manual com duas porções distintas de água em temperatura ambiente. Em seguida, foram secas em estufa sob temperatura de 60 °C. Por fim, avaliou-se a alteração de cor das amostras e a transferência de cor aos tecidos-testemunha de escala de cinza com base na norma ABNT NBR ISO 105 – A04, sendo 1 a nota mínima, que significa grande alteração da cor, e 5 a nota máxima, que significa cor inalterada ou ótima solidez.

Resultados e Discussão

Análise dos resultados colorimétricos

As amostras tingidas foram submetidas à avaliação de cor e as Tabelas 1 até 4 mostram os resultados obtidos para os substratos tingidos com os diferentes extratos e mordentes. Não são apresentados os dados da amostra crua pois esta serve de padrão a qual as demais amostras são comparadas. Somente o valor de K/S é apresentado para esta amostra padrão e os valores podem ser observados na Figura 2.

Tabela 1. Valores colorísticos das amostras tingidas com extrato de folhas frescas secas em estufa

Mordente	Δ L	Δ a	Δ b	Δ E (CMC)	Força	K/S	Cor
Padrão					100	76,88	
Limão	0,60	0,81	-1,64	1,49	92,72	80,07	
Leite de soja	-2,97	1,26	-1,51	2,16	117,66	75,92	

Fonte: elaborado pelos autores

Analisando os dados apresentados na Tabela1, é possível afirmar que há pouca variação entre a intensidade colorística (K/S) das amostras tingidas com o extrato de folhas frescas secas em estufa, embora a força colorística da amostra com o mordente de soja é a maior, o que também é reforçado por meio do resultado de delta L negativo, que indica uma cor mais escura. O resultado negativo de delta b para a amostra mordentada com limão indica uma cor mais azulada que o padrão.

Tabela 2. Valores colorísticos das amostras tingidas com extrato de folhas frescas

Mordente	Δ L	Δ a	Δ b	Δ E (CMC)	Força	K/S	Cor
Padrão					100	57,12	
Limão	-5,35	1,30	-1,41	2,87	141,68	68,96	
Leite de soja	-5,04	1,17	1,40	2,46	149,57	66,61	

Fonte: elaborado pelos autores

Na Tabela 2 é possível observar que os valores de K/S são baixos para o extrato de folhas de eucalipto frescas em todas as amostras têxteis e que a cor da amostra tratada com limão novamente é mais azulada, indicando uma tendência para este estado da folha de eucalipto.

A Tabela 3 traz informações que indicam um potencial tintorial das folhas de eucalipto secas, com K/S muito superior das amostras tintas com o extrato das folhas frescas. O substrato mordentado com o leite de soja apresentou maior K/S e maior força de cor com maior luminosidade, enquanto o substrato mordentado com limão apresentou resultados inferiores aos da amostra sem tratamento.

Tabela 3. Valores colorísticos das amostras tingidas com extrato de folhas maduras secas em estufa

Mordente	Δ L	Δ a	Δ b	Δ E (CMC)	Força	K/S	Cor
Padrão					100	104,61	
Limão	0,76	0,33	0,8	0,79	92,70	90,83	
Leite de soja	-6,01	-0,09	-2,36	2,85	139,10	108,55	

Fonte: elaborado pelos autores

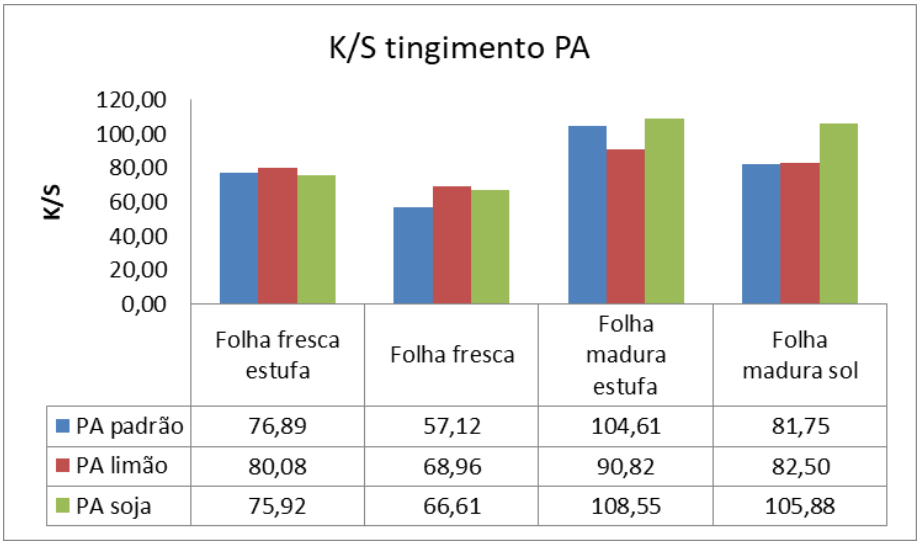
Os resultados apresentados na Tabela 4 seguem uma tendência de maior intensidade de cor quando comparados às Tabelas 1 e 2, mas inferiores à Tabela 4, indicando novamente que o extrato de folhas de eucalipto secas em estufa possuem um maior potencial tintorial sobre fibras de poliamida. Neste tingimento, os resultados dos tecidos cru e com mordente de limão tiveram resultados bem semelhantes, enquanto o substrato submetido ao leite de soja novamente apresentou maior força de cor e maior intensidade colorística.

Tabela 4. Valores colorísticos das amostras tingidas com extrato de folhas maduras secas em sol

Mordente	Δ L	Δ a	Δ b	Δ E (CMC)	Força	K/S	Cor
Padrão					100	81,75	
Limão	-0,80	1,41	1,29	1,53	107,57	82,50	
Leite de soja	-9,46	1,61	0,28	4,07	188,29	105,88	

Fonte: elaborado pelos autores

Os resultados apresentados nas tabelas indicam que há a possibilidade de empregar o extrato das folhas de eucalipto no tingimento de fibras de poliamida, com e sem aplicação de mordente. Porém, é possível afirmar que a aplicação do leite de soja sobre a fibra de poliamida potencializa o resultado de cor dos tingimentos e que as folhas de eucalipto maduras e secas em estufa permitem uma extração maior de pigmentos naturais que podem ser utilizados como corante para a fibra em estudo.
Para uma melhor visualização destes resultados, a Figura 2 apresenta uma comparação do K/S de todos os tingimentos.



	Folha fresca estufa	Folha fresca	Folha madura estufa	Folha madura sol
PA padrão	76,89	57,12	104,61	81,75
PA limão	80,08	68,96	90,82	82,50
PA soja	75,92	66,61	108,55	105,88

Figura 2. Dados de (K/S) das amostras de poliamida tingidas com diferentes mordentes e extratos de folha de eucalipto
Fonte: elaborado pelos autores

A Figura 2 mostra que a maior intensidade de cor é obtida após o substrato ser tingido com o extrato de folhas de eucalipto maduras e secas em estufa com o mordente leite de soja.

Para Balakrishnan (2024), o uso do leite de soja como mordente para tecidos de seda aumentou a solidez e a absorção do corante extraído do fruto da *Basella alba.* De modo geral, o processo de mordente de proteína de soja demonstra um impacto positivo na tingibilidade do tecido de algodão (PERIYASAMY, 2022). É possível que os grupos de nitrogênio presentes na molécula da proteína de soja (Figura 3) sejam responsáveis pela sua ligação com o corante.

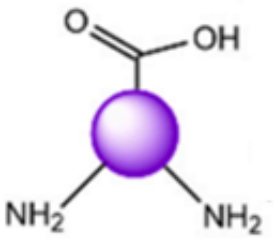
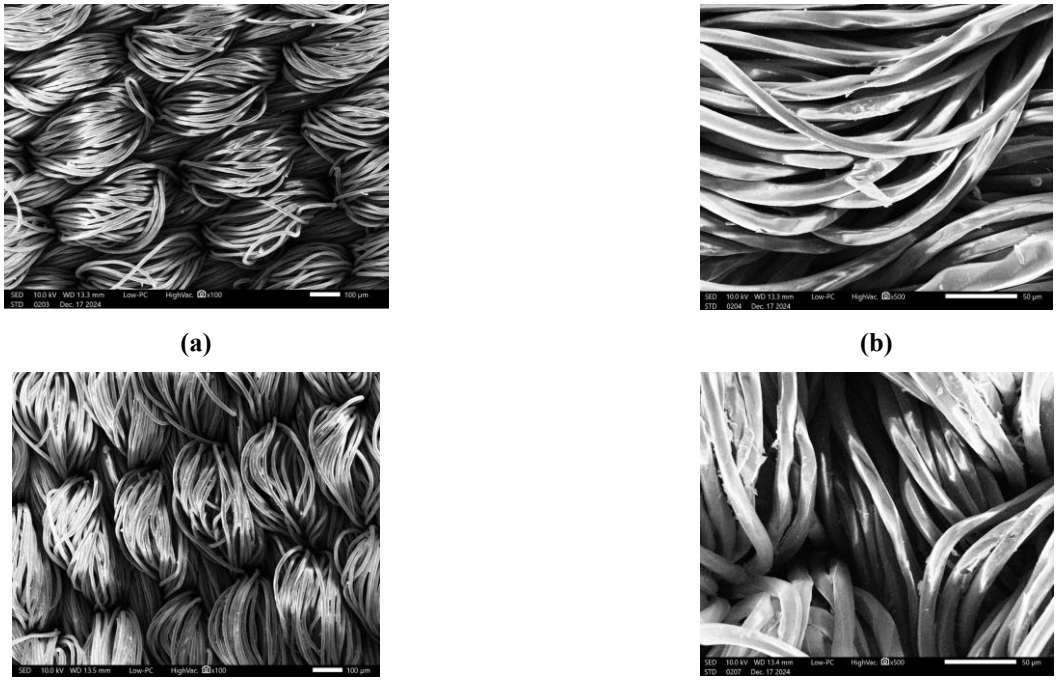


Figura 3. Estrutura molecular da proteína de soja.

As folhas frescas, com ou sem processo de secagem, não possuem bom poder tintorial, indicando baixa concentração de pigmentos em sua estrutura, mesmo quando o substrato é submetido à aplicação de um mordente. Já as folhas maduras, principalmente aquelas secas em ambiente e temperatura controlada, apresentam uma intensidade colorística 83 % superior às tingidas com as folhas frescas, em ambos substratos sem mordente. Quando o substrato é tratado com o mordente de leite de soja, essa diferença é de 90 % de maior intensidade. Considerando este resultado, a pesquisa irá sofrer um refinamento para o substrato têxtil tratado com leite de soja e o extrato corante obtido das folhas maduras secas em estufa.

Caracterização dos tecidos por análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica das amostras por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permitiu a observação detalhada da superfície das fibras, evidenciando alterações estruturais decorrentes do processo de tingimento e do uso após a aplicação dos diferentes mordentes. As imagens obtidas (Figura 4) revelam pequenas variações na topografia das fibras, com diferenças entre as amostras tratadas e a amostra padrão, ou seja, a poliamida sem aplicação de mordente.



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Figura 4. MEV das amostras de tecido de poliamida; (a) crua aumento de 100×, (b) crua aumento de 500×, (c) mordentada com leite de soja aumento de 100× e (d) mordentada com leite de soja aumento de 500×.

Ao avaliar as amostras apresentadas na Figura 4, é possível observar que a fibra de poliamida é lisa, de formato arredondado, característica de fibras sintéticas em forma de filamento contínuo. Comparando os filamentos crus com os tratados com leite de soja, é possível observar uma leve adesão de resíduos, que podem ser oriundos do leite de soja e que podem proporcionar a melhor ligação entre corante e fibra.

Solidez da cor – solidez à lavagem

Uma forma importante de avaliar se um elemento pode ser empregado como um corante têxtil, além de sua tingibilidade, é a permanência sobre o substrato após o tingimento e pós uso ou lavagem. Para obter esse resultado e compreender se é viável ou não aplicar o corante em estudo, é realizado o ensaio de solidez à lavagem dos substratos tingidos.

A Tabela 5 mostra os resultados de solidez à lavagem no que diz respeito à alteração da cor inicial e transferência de corante para um tecido-testemunha. Os resultados são apresentados em nota de escala de cinza.

Tabela 5 – Notas de solidez a alteração e transferência de cor das amostras tintas com corante obtido a partir das folhas de eucalipto maduras secas em estufa

Amostra	Nota de solidez a alteração	Nota de solidez a transferência
Poliamida crua	4	4
Poliamida tratada com leite de soja	4/5	4/5

Fonte: elaborado pelos autores

Os resultados de solidez apresentados na Tabela 5 indicam que a alteração da cor e a transferência do corante para o tecido-testemunha são relativamente baixos, com notas 4 e 4/5 para o tecido cru e tratado com leite de soja, respectivamente. O leite de soja agiu como um mordente estável, indicando que sua presença proporcionou maior interação entre o corante e a fibra.

Conclusão

Esse estudo comprovou a viabilidade da utilização do extrato de folhas de eucalipto como alternativa de corante natural, bem como do leite de soja como biomordente em processos de tingimento de fibras de poliamida. A conclusão é obtida a partir dos resultados de intensidade colorística (K/S) e notas de solidez 4/5, que indicam uma resistência elevada da cor após processos de lavagem. A investigação contínua de alternativas sustentáveis para os processos químicos têxteis é cada vez mais relevante, tendo em vista os impactos ambientais causados por corantes e auxiliares têxteis sintéticos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela bolsa PIBIC e a Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio recebido, permitindo que seus laboratórios fossem utilizados no andamento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

PERIYASAMY, A. P. Natural dyeing of cellulose fibers using syzygium cumini fruit extracts and a bio-mordant: A step toward sustainable dyeing. Sustainable Materials and Technologies, v. 33, p. 472 – 481, 2022.

BALAKRISHNAN, Subashini. Silk fabric dyeing with *Basella alba* (Sri Lankan green spinach fruit) natural dyes: Mordant-free dyeing approaches. Industrial Crops and Products, v. 222, p. 119337, 2024.

KHAN, M. U.; ALI, M.; AHMAD, M.; HUSSAIN, T. Extração de corantes naturais ecológicos e biomordentes para coloração têxtil: uma revisão. *Jornal de Produção Mais Limpa*, v. 414, p. 137747, 2024.

OLIVEIRA, Fernando Ribeiro. Tingimento da poliamida 6.6 com corantes ácidos, reactivos e directos após modificação superficial com descarga plasmática de dupla barreira dielétrica (DBD**)**. 2009. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Têxtil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2009.

SAMANTA, Ashis Kumar; AGARWAL, Priti. Application of natural dyes on textile. Indian Journal Of Fibre & Textile. Calcuta, p. 384-399. 22 dez. 2009. Disponível em: https://docslib.org/doc/5413261/application-of-natural-dyes-on-textiles. Acesso em: 20 abr. 2025.

YADAV, Shailendra *et al*. A brief review on natural dyes, pigments: recent advances and future perspectives. Results In Chemistry, India, v. 5, p. 100733, 2022.

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EMPREGANDO RESÍDUOS DE PODA ARBÓREA URBANA DAS ESPÉCIES BRINCO DE ÍNDIO (*Cojoba arbórea*) E MANGUEIRA (*Mangífera indica*)

1Fernando Souza Davies, 2Larissa de Paula Lucas, 3Estela Sales Heilmann, 4Renata Mello Giona, 5Ismael Laurindo Costa Junior

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: fsddavies@gmail.com, 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: larissaplucas17@gmail.com; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: estelaheilmann@alunos.utfpr.edu.br; 4Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: rmgiona@utfpr.edu.br; 5Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ismael@utfpr.edu.br.

Palavras-chave: Resíduos de podas de árvores; Carvão ativado; Otimização.

Resumo

A produção de carvão ativado (CA) a partir da utilização podas de árvores é uma forma de proporcionar o aproveitamento tendo em vista aspectos ambientais e econômicos. Neste estudo foram utilizados os resíduos de podas de árvores urbanas das espécies mangueira (*Mangífera indica*) e brinco de índio (*Cojoba arbórea*) obtidos junto à prefeitura do município de São Miguel do Iguaçu-PR e realizada a produção de CA com emprego do cloreto de zinco ($ZnCl_2$) como ativador. Os resíduos já triturados foram secos ao ar em temperatura 25±5 °C por 30 dias. Na sequência, foram produzidos os carvões vegetais (CV) em forno mufla por meio da carbonização à 310 °C por 1 h, seguida de ensaios de ativações usando Delineamento Composto central Rotacional (DCCR) para otimização de temperatura e razão entre a quantidade de $ZnCl_2$ e carvão vegetal ($ZnCl_2$/CV). Utilizou-se como resposta a quantidade de grupos ácidos (mEq g^{-1}) presentes nos CA preparados. Obtiveram-se condições estatisticamente ideais de 331 ºC e 239 °C para temperatura e de 2,4 e 2,7 para a relação $ZnCl_2$/CV para o CA de mangueira (MG-T1) e de brinco de índio (BI-T2) respectivamente. Definidas es condições de preparo, ocorreram caracterizações do CA por meio do potencial de carga zero (pH_{pcz},), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difratometria de raios-X (DRX). Os CA preparados apresentaram aspectos de porosidade e composição com potencial para aplicação em processos de adsorção de contaminantes em meio aquoso.

Introdução

A produção e aplicação de CA a partir de resíduos para a adsorção de poluentes mostra-se relevante devido à sua eficiência, baixo custo e natureza sustentável (Niero *et al.*, 2020). A alta capacidade de adsorção dos CA torna-os materiais promissores na remoção de contaminantes em meio aquoso (Komatsu *et al*., 2021). Dentre os resíduos que podem ser utilizados para a produção de CA estão as podas de arvores (RPA), que representam uma biomassa abundante e de baixo custo com grande potencial para a obtenção de diferentes carvões (Ocal *et al*., 2024). A geração em larga escala dos RPA é observada em diversas atividades urbanas e rurais, como a manutenção de pomares, olivais, áreas florestais e podas de árvores urbanas de ruas e praças (Mesquita *et al.*, 2025).

A composição dos RPA é rica em celulose, hemicelulose e lignina. Essa característica faz com que esses materiais se tornem adequados para a produção de CA por meio do emprego de processos pirólise ou carbonização. A alta concentração de carbono nos RPA é uma característica fundamental para a obtenção de um CA com alta capacidade de adsorção (Ramos *et al*., 2024). Diversos estudos têm utilizado diferentes tipos de RPA para a produção de CA, incluindo podas de árvores frutíferas, oliveiras, cerejeiras e ramos de chá (Ramos *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2023; Mesquita *et al.*, 2025).

Ao utilizar RPA para a produção de CA realiza-se a valorização desses resíduos, gerando assim vantagens ambientais e uma alternativa sustentável em substituição ao descarte inadequado como a queima a céu aberto. Por ser um precursor de baixo custo, o processo de produção de CA torna-se mais econômico. Além disso, é possível realizar a aplicação do CA produzido a partir de RPA para a adsorção de poluentes diversos, transformando um resíduo em um produto de valor agregado com aplicações ambientais importantes (Ramos *et al*., 2024).

O CA é um material altamente poroso e isso proporciona uma capacidade de ser utilizado para adsorção. A estrutura porosa é constituída por microporos e mesoporos, proporcionando grande área superficial obtida por meio de um procedimento de ativação, em que o carvão é exposto a temperaturas elevadas e gases (Liu *et al.*, 2023). No processo de ativação, os elementos voláteis são removidos e sobra uma matriz rica em carbono e repleta de espaços vazios. Esse resultado da ativação nos resulta um material capaz de adsorver eficazmente produtos químicos, toxinas, metais pesados e compostos orgânicos, tanto em fases líquidas quanto gasosas (Qi *et al*., 2024).

A produção de CA pode ocorrer por dois métodos principais de ativação: ativação física e ativação química, que são influenciados por vários fatores, como tipo de ativador químico, tempo de impregnação, temperatura e duração da carbonização, composição química da matéria-prima, entre outros (Gayathiri *et al*., 2022). A ativação química é um método comum para sintetizar materiais porosos de carbono. Ela envolve um único processo de carbonização e ativação, no qual a matéria-prima é impregnada com ativadores químicos como ácidos, álcalis e compostos metálicos, e tratada termicamente em uma atmosfera inerte. O ativador remove a umidade, reduz a temperatura necessária para ativação e promove a formação de estruturas porosas (Baytar *et al*., 2020). A ativação química é vantajosa em relação à ativação física devido à maior penetração do ativador na rede de carbono, o que leva a uma estrutura de poros mais desenvolvida, além de menor temperatura de ativação e maiores

rendimentos. Os agentes químicos utilizados na ativação química são geralmente o cloreto de zinco ($ZnCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4), e hidróxido de potássio (KOH), utilizados para impregnar o resíduo de biomassa antes da carbonização ou após a carbonização (Gayathiri *et al*., 2022).

Diante disso, neste estudo foram otimizadas condições preparo e realizada a caracterização de CA obtidos a partir de resíduos de podas de árvores urbanas das espécies mangueira (*Mangífera indica*) e brinco de índio (*Cojoba arbórea*) com emprego do cloreto de zinco (ZnCl2) como ativador.

Metodologia

Os resíduos utilizados foram provenientes de podas de árvores urbanas no município de São Miguel do Iguaçu-PR, localizado na região oeste do Paraná. A matéria bruta foi processada pela prefeitura que realiza a poda e trituração de galhos. Foram utilizados 10 kg de resíduos triturados das espécies brinco de índio (*Cojoba arbórea*) e mangueira (*Mangífera indica*) proveniente de uma única árvore, sem contaminação, uniforme, sem presença excessiva de folhas ou cascas. Após a coleta, foi realizada a secagem em temperatura ambiente de 25±5 ºC, e posteriormente realizada a caracterização imediata por meio da determinação da umidade (Método ASTM D 3173-85), material volátil e carbono fixo, cinzas (Método ASTM D 2415-66).

Para a obtenção do CA, primeiramente foi preparado o CV em forno mufla (Jung, modelo 612) empregando rampas de aquecimento com taxa de 1,11°C min^{-1} até 125°C, seguida de taxa de 0,625°C min^{-1} até 310 °C durante 1h, com homogeneização manual a cada 15 min. Após resfriamento, os CV foram triturados em almofariz e pistilo e as partículas foram separadas na granulometria entre as peneiras 18 e 35 mesh (1,00 a 0,50 mm).

No processo de ativação química foi utilizado como precursor o Cloreto de Zinco ($ZnCl_2$, Merck, PA 99,9%). Alíquotas de 15 g de CV de cada espécie foram misturadas a porções de $ZnCl_2$ e submetido a temperaturas diferenciadas de pirólise conforme DCCR (Tabela 1). Foram consideradas como variáveis a razão mássica ativante/carvão (g g^{-1}) e a temperatura. As misturas foram realizadas em cadinho de porcelana com uso de 5 mL de água ultrapura para homogeneização e secagem em estufa à 105 ºC por 12 h. Após o período de pirólise e o devido resfriamento, lavou-se o material com uma solução de ácido clorídrico (HCl, Dinâmica, PA 37%) na concentração de 1 mol L^{-1} sucessivamente até atingir um pH constante, para eliminação do residual de $ZnCl_2$. Por fim, secou-se os CA em estufa a 105°C por 12 h e realizou-se a desagregação e armazenamento.

Tabela 1 – Experimentos que compuseram o DCCR

Ensaio	Variáveis e níveis			
	Temperatura (°C)		Razão $ZnCl_2$/CV (g g^{-1})	
	Codificado	Real	Codificado	Real
1	-1	250	-1	1,5
2	1	450	-1	1,5
3	-1	250	1	2,5
4	1	450	1	2,5
5	0	350	0	2
6	0	350	0	2
7	0	350	0	2
8	-1,4	210	0	2
9	1,4	490	0	2
10	0	350	-1,4	1,3
11	0	350	1,4	2,7

Fonte: Elaborado pelos autores

A avalição do CA preparados em cada ensaio do DCCR ocorreu por meio da quantidade de grupos ácido em termos de miliequivalente (mEq g^{-1}), comumente representados por grupos fenólicos, carboxílicos e cetônicos, serem indicativos de sítios disponíveis para a adsorção em materiais adsorventes produzidos a partir de biomassa vegetal (Juan *et al*., 2021). Para realizar essa quantificação foi empregado o método de titulação e a quantidade de grupos ácidos foi calculada estequiometricamente.

O programa computacional *Statistica* 10.0 foi utilizado na análise dos dados obtidos no DCCR mediante ajuste de modelos estatísticos aos dados experimentais, assim como para a obtenção de curvas de níveis. A avaliação do modelo foi realizada com base na Análise da Variância (ANOVA) de regressão e a otimização foi realizada pela definição de ponto máximo na superfície de resposta obtida em termos de quantidade de grupos ácidos.

A condição otimizada foi utilizada na produção de um novo lote de CA e este caracterizado. Paras as medidas de difração de raios X (DRX), os auto-orientadores foram colocados em amostras de vidro neutro e as medições foram realizadas no modo de reflexão usando um Difractômetro Empyrean KαCu (λ=1,542 Å), que opera de 5 a 100 θ, com um tempo de permanência de 2 min. Quanto às medidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), essas ocorreram em Microscópio Eletrônico Zeiss EVO-MA10 com detector de elétrons secundários (para alto e baixo vácuo), detector de elétrons retroespalhados, detector de raios X (para EDS/EDX) e detector para STEM. As amostras em pó foram depositadas sob uma fita de cobre dupla-face e recobertas com ouro (metalização) para análise.

Com o intuito de definir a faixa de pH mais favorável ao processo de adsorção, foi investigado o pH_{pcz} para os carvões ativados produzidos. O pH_{pcz} é definido como o pH em que a superfície do adsorvente apresenta carga líquida igual a zero, ou seja, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas (Nunes *et al*., 2023).

Resultados e Discussão

Para o carvão obtido a partir do resíduo de poda de mangueira (MG) foram verificados valores de grupos ácidos na faixa de 3,4 a 4,3 mEq g^{-1} nos ensaios de 3 a 11 e para o proveniente da espécie brinco de índio (BI), foram verificados melhores valores nos ensaios 1, 3, 6 e 11, cujos grupos ácidos na faixa apresentaram-se na faixa de 5,3 a 6,7 mEq g^{-1} (Figura 1).

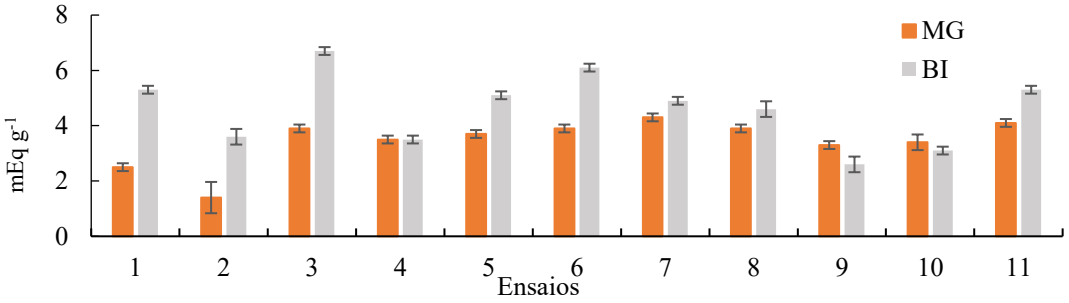


Figura 1: Quantidade de grupos ácidos (mEq g^{-1}) obtidas por meio do DCCR.

A partir desses valores foi realizada a ANOVA para avaliação dos dados de regressão do modelo estatístico quadrático para relacionar a quantidade de grupos ácidos com as variáveis temperatura e razão $ZnCl_2$/CV num intervalo de confiança de 95% (Tabela 2). Observou-se que a razão do F_{cal}/F_{tab} foi maior quer 1 para a ANOVA de regressão do modelo quadrático de ambos os carvões. Esse dado sugere que tal modelo foi estatisticamente significativo para representar a relação entre as variáveis e a resposta.

Tabela 2 - ANOVA do modelo quadrático para a quantidade de grupos ácidos segundo o DCCR

CA	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F_{cal} (95%)	F_{tab} (95%)	F_{cal}/F_{tab}
MG	Regressão	5,84	5	1,2	6,0	5,0	1,2
	Resíduos	1,10	5	0,2	-	-	
	Total	6,94	10	-	-	-	-
BI	Regressão	14,00	5	2,8	5,6	5,0	1,1
	Resíduos	2,40	5	0,5	-	-	
	Total	16,40	10	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores

Com a aceitação desse modelo, observou-se que os efeitos lineares e quadráticos das variáveis estudadas, bem como a interação entre eles sobre a quantidade de grupos ácidos. A razão $ZnCl_2$/CV linear foi a principal variável que contribui para o aumento na quantidade de grupos ácidos no carvão produzindo a partir da poda de mangueira (MG). Já para o carvão preparado com o resíduo de poda de brinco de índio (BI), a redução da temperatura linear foi a principal característica que contribuiu para o aumento da quantidade de sítios ácidos no material. Com a aceitação do modelo estatístico, também foram obtidas as superfícies de respostas para os carvões MG e BI (Figura 2).

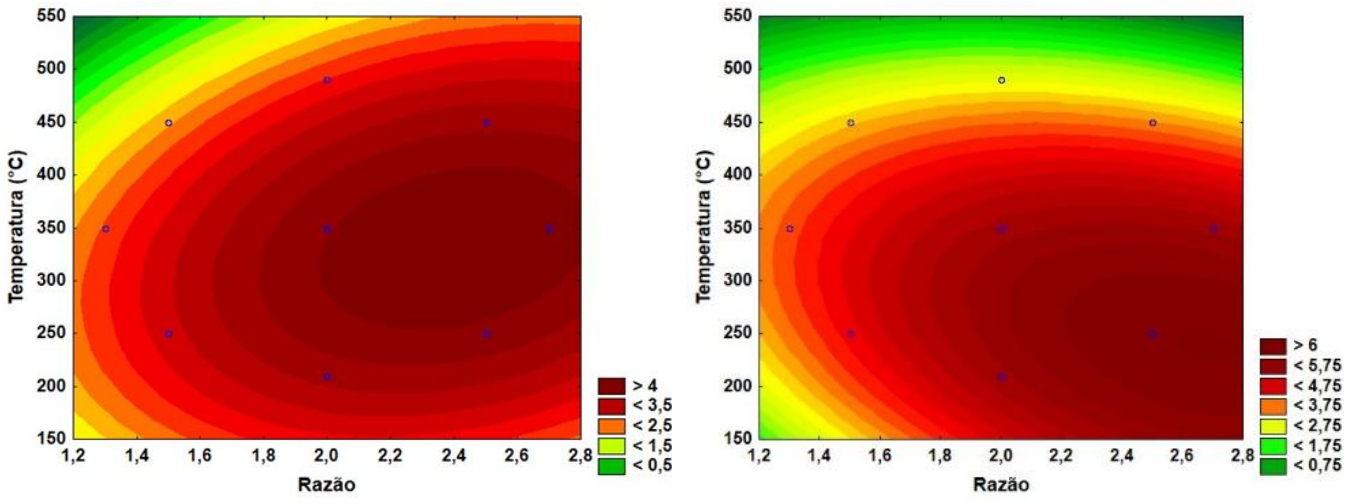


Figura 2: Superfícies de resposta segundo o DCCR. a) MG e b) BI.

Em ambas as superfícies de resposta foi possível identificar a existência de condições ótimas (pontos de máximos) para a produção dos carvões a partir das quantidades de grupos ácidos utilizados como respostas. Para o carvão MG, esses pontos se distribuem entre as razões de 2,0 a 2,8 e temperaturas de 250 a 400 ºC e para o carvão BI entre as razões de 2,2 a 2,8 e temperaturas de 150 a 300 ºC. Com isso, obtiveram-se condições estatisticamente ideais de 331 ºC e 239 °C para temperatura e de 2,4 e 2,7 para a relação $ZnCl_2$/CV para o CA de mangueira (MG) e de brinco de índio (BI) respectivamente. Pelo fato de cada amostra ter apresentada uma condição otimizada em particular, essas condições foram chamadas de tratamentos 1 e 2 (T1 e T2).

Por meio das medidas de MEV foram obtidas as micrografias (Figura 3) de cada amostra para os carvões vegetais usados como precursores (BI-CAV e MG-CAV) e para os carvões ativos obtidos pelas condições otimizadas T1 e T2 (BI-T1, BI-T2, MG-T1 e MG-T2). Na Figura 3, por comparação das micrografias antes dos tratamentos (BI-CAV e MG-CAV) e após tratadas (BI-T1, BI-T2, MG-T1 e MG-T2), observa-se que o aspecto fibroso (Figura 3a e 3d) passa a ser mais irregular e rugoso (Figura 3b, 3c, 3e e 3f). Esta modificação sugere um aumento de área superficial nos materiais produzidos.

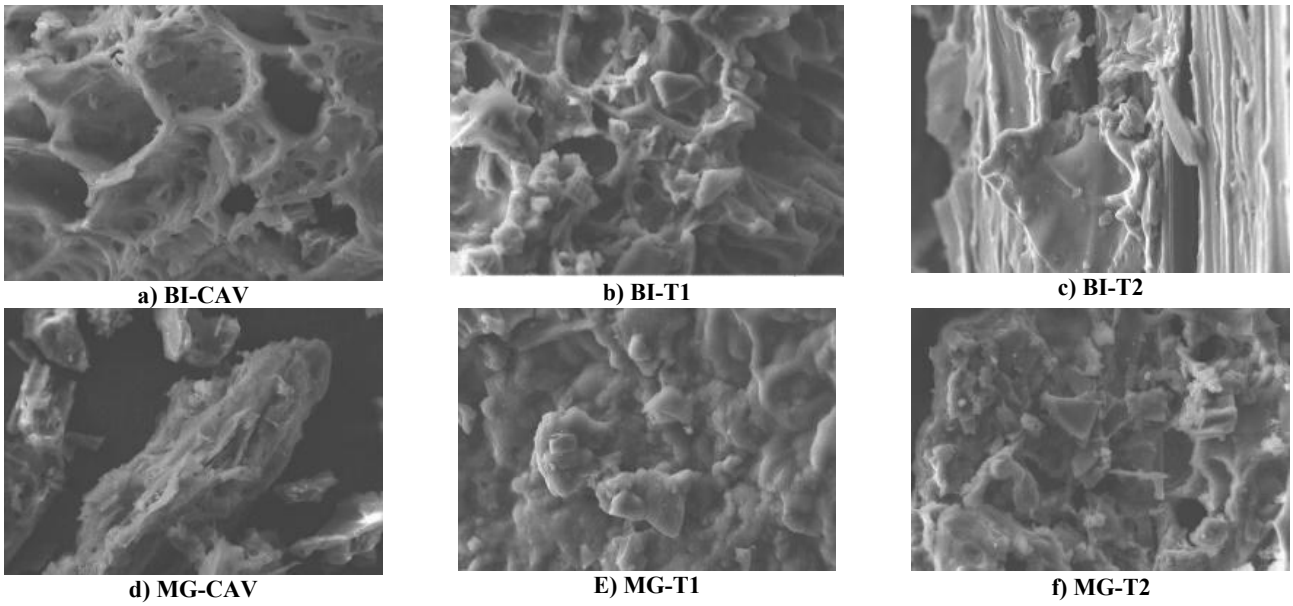


Figura 3: Micrografias das amostras de carvões.

De modo geral, as micrografias revelaram a micromorfologia do material, sendo ela composta de estruturas não uniformes, e com a presença de poros em sua superfície. Com o tratamento de ativação (T1 e T2), as estruturas são posteriormente aumentadas. O material pode ser classificado como sendo de estruturas fibrosas, alargadas e irregulares. As partículas fibrosas possuem formas lineares e esqueléticas, sendo observada na sua superfície a presencia de buracos o que sugerem uma micromorfologia porosa.

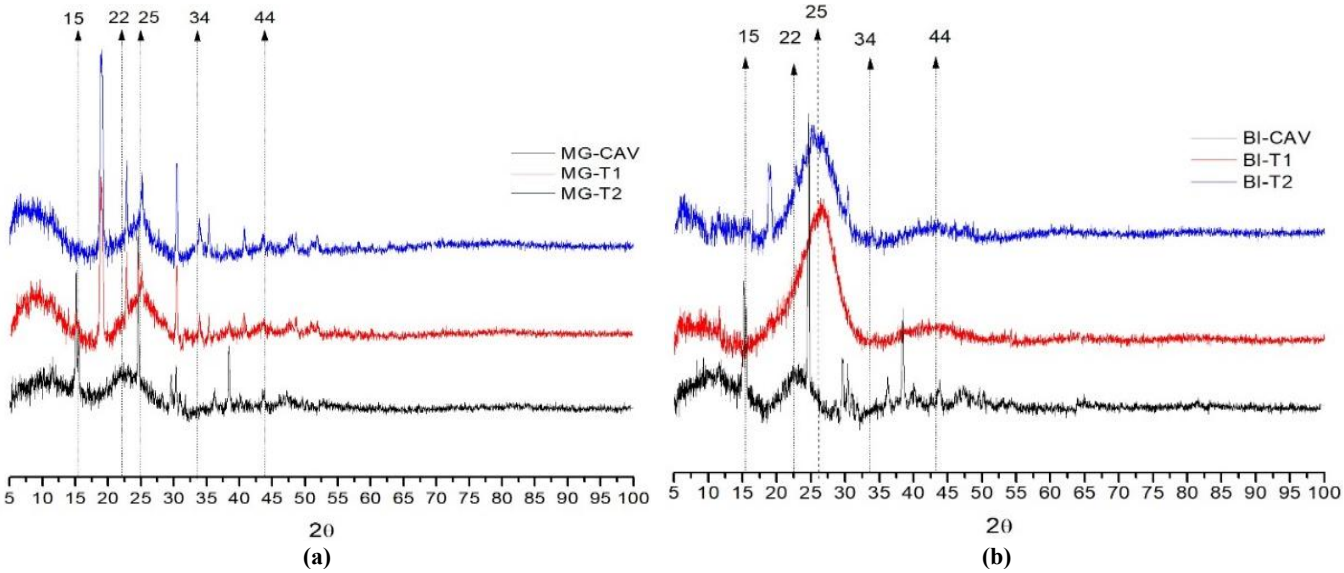


Figura 4: Difratogramas das amostras de carvões. a) MG e b) BI.

Nos difratogramas para as amostras BI e MG (Figura 4a e 4b) é possível verificar que a intensidade dos picos diminui das amostras de carvão vegetal (BI-CAV e MG-CAV) em relação àquelas tratadas (BI-T1, BI-T2, MG-T1 e MG-T2), o que sugere a diminuição da cristalinidade dos materiais, devido a degradação da celulose. Além disso, as amostras BI-CAV e MG-CAV apresentaram picos cristalográficos semelhantes nos ângulos de Bragg (2θ) de 15º, 22º e 34º que estão associados a regiões amorfas e cristalinas de fibras de celulose complementa que os picos em 15º, 17º, 20º, 22º e 34º de 2θ são característicos da celulose tipo I.

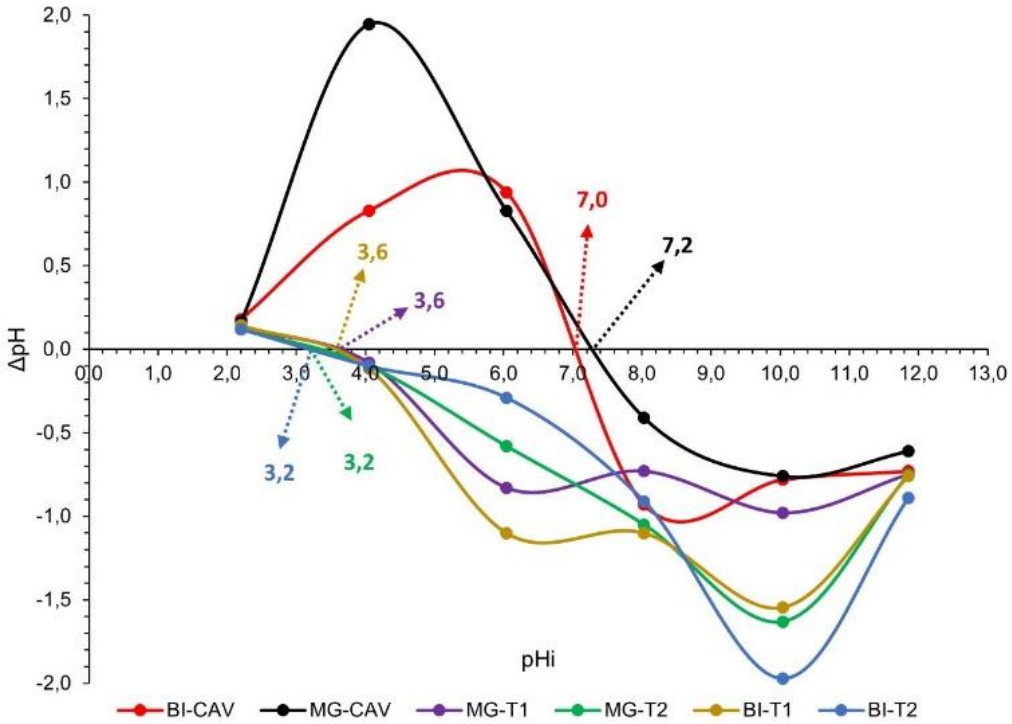


Figura 5: pH_{pcz} de cada carvão.

Para o pH_{pcz} (Figura 5) foi possível verificar um comportamento distinto nas amostras BI-CAV e MG-CAV das demais. Acredita-se que isso ocorre em decorrência de serem amostras de carvões vegetais comuns, sem os tratamentos realizados nas demais. O pH_{pcz}, corresponde ao pH em que a superfície do material possui carga líquida igual a zero. A modificação do pH_{pcz} após os tratamentos T1 e T2 sugere uma alteração na composição química da superfície do carvão ativado (Nunes *et al*., 2023).

Diversos fatores podem influenciar o pH_{pcz} de um material, incluindo a presença de grupos funcionais ácidos ou básicos na superfície. Tratamentos químicos, como T1 e T2, podem introduzir ou remover grupos funcionais, alterando o pH_{pcz}, e impactando a capacidade de adsorção do carvão ativado. Para ambos os tratamentos se obteve valores superiores a 3,2, a utilização de um pH no intervalo acima desse valor é favorável ao processo de adsorção de espécies catiônicas e abaixo de espécies aniônicas (Nunes *et al*., 2023).

Conclusões

Foram obtidas condições ótimas para a produção dos carvões a partir dos RPA testados. Para o CA MG, entre as razões de 2,0 a 2,8 e temperaturas de 250 a 400 ºC e para o CA BI entre as razões de 2,2 a 2,8 e temperaturas de 150 a 300 ºC. As micrografias indicam que os tratamentos realizados foram efetivos para aumentar a área superficial dos carvões para ambas as espécies precursoras. Foi identificado que a micromorfologia do material é composta de estruturas não uniformes, e com a presença de poros em sua superfície, sendo de estruturas fibrosas, alargadas e irregulares.

Nos difratogramas foi possível verificar que as intensidades dos picos são menores para as amostras de carvão vegetal de ambas as espécies. Essa menor intensidade indica a diminuição da cristalinidade dos materiais, devido à degradação da celulose.

O pH_{pcz} revelou um comportamento distinto entre as amostras de carvão vegetal (BI-CAV e MG-CAV) e as amostras tratadas (BI-T1, BI-T2, MG-T1 e MG-T2). Essa diferença confirma a alteração na composição química da superfície do carvão ativado após os tratamentos T1 e T2. A mudança no pH_{pcz} impacta diretamente na capacidade de adsorção do carvão ativado, influenciando sua interação com os fármacos em solução. Essas características sugerem que os CA são promissores quanto a aplicação em processos de adsorção

Agradecimentos

Os Autores agradecem à UTFPR, à UNILA e à prefeitura de São Miguel do Iguaçu-PR pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

BAYTAR, O.; CEYHAN, A. A.; SAHIN, O. 2020. Production of activated carbon from Elaeagnus angustifolia seeds using H_3PO_4 activator and methylene blue and malachite green adsorption, **International Journal of Phytoremediation**, v. 23. n. 7, p. 693-703.

GAYATHIRI, M.; PULINGAM, T.; LEE, K. T.; SUDESH, K.. 2022. Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. **Chemosphere,** v. 294, p. 133764.

JUAN, Z.; YONGKE, Z.; YAPING, Z.; QINGYUN, Z.; SIYU, W. 2021. Influence of the acid groups on activated carbon on the adsorption of bilirubin. **Materials Chemistry and Physics**, v. 260, p. 124133, 2021.

KOMATSU, J. S.; SOUZA, F. M.; PINHEIRO, V. S.; BÖHNSTEDT, P.; PAPE, P. W. G.; MANDELLI, D.; SANTOS, M. C.; CARVALHO, W. A. 2021. Cotton fabric derived αFe magnetic porous carbon as electrocatalyst for alkaline direct ethanol fuel cell. **Catalysis Today**, v. 381, p. 65-75.

LIU, X.; REN, X.; DONG, J.; WANG, B.; GAO, J.; WANG, R.; YAO, Jng; CAO, Wenbo. 2023. Preparation and physicochemical properties of biochar from the pyrolysis of pruning waste of typical fruit tree in north china, **BioResources**, v. 18, n. 4, p. 8536-8556, 2023.

MESQUITA, R. M. F.; SCHNEIDER, W. D. H.; LONGO, V.; BAUDEL, H. M.; DIEBOLD, E.; RENCORET, J.; GUTIÉRREZ, A.; CAVACO-PAULO, A.; RIBEIRO, A.; CAMASSOLA, M. Tunning antisolvent precipitation for the synthesis of lignin nanoparticles using lignin extracted from different agro-industrial wastes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 306, p. 141676, 2025.

NIERO, G.; RODRIGUES, C. A.; ALMERINDO, G. I.; CORRÊA, A. X. R.; GASPARETO, P.; FEUZER-MATOS, A. J.; SOMENSI, C. A.; RADETSKI, C. M. 2021. Using basic parameters to evaluate adsorption potential of alternative materials: example of amoxicillin adsorption by activated carbon produced from termite bio-waste. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 56, n. 1, p. 32–43, 2020.

NUNES, C. S.; CASTILLO, A. S.; RAMOS, J. P.; GOMES, L. G.; CARDOSO, F. J. B.; VILHENA, K. S. S. 2023. Potencial de resíduo não processado proveniente da obtenção do silício metálico como adsorvente do corante vermelho de metila. **Revista Matéria**, v. 28, n. 1, p. 16.

OCAL, B.; RECEPOGLU, Y. K; YUKSEL, A. 2024. Thermal liquefaction of olive tree pruning waste into bio-oil in water and ethanol with NaOH catalyst. **Journal of the Energy Institute**, v. 113, p. 101533.

QI, W.; YANG, Y.; XU, Y.; TENG, X.; MA, J.; XU, W.; YE, Z.; FANG, X.; LIU, D. 2024. Synergistic Effects of Unmodified Tea Leaves and Tea Biochar Application on Remediation of Cr-Contaminated Soil. **Toxics,** v. 12, p. 888.

RAMOS, P. B.; MAMANÍ, A.; ERANS, M.; JEREZ, F.; PONCE, M. F.; SARDELLA, M. F.; ARENCIBIA, A.; BAVIO, M. A.; SANZ-PÉREZ, E. S.; SANZ, R. 2024. CO_2 Capture from Porous Carbons Developed from Olive Pruning Agro-Industrial Residue. **Energy Fuels,** v. 38, p. 6102−6115.

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA SÍNTESE DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO

1Pedro Antonio Galacci Reinert, 2Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante, 3Bruna Gonçalves de Souza, 4Maria Angélica Simões Dornellas de Barros, 5Thaisa Frossard Coslop

1Universidade Estadual de Maringá, e-mail: pedroreinert1005@gmail.com; 2Universidade Estadual de Maringá, e-mail: mhnoscaliante2@uem.br; 3Universidade Estadual de Maringá, e-mail: bgsouza2@uem.br; 4Universidade Estadual de Maringá, e-mail: masdbarros@uem.br; 5Universidade Estadual de Maringá, e-mail: fcthaisa@gmail.com

Palavras-chave: Economia circular; Suspensão de nanopartículas; Rendimento quântico.

Resumo

O presente trabalho apresenta a síntese de pontos quânticos de carbono (CQDs), nanomateriais fluorescentes compostos por núcleos carbonáceos, a partir de resíduos agroindustriais, mais especificamente rúmen bovino e bagaço de malte, utilizando uma rota sintética verde baseada na carbonização assistida por micro-ondas. Inserida no contexto da economia circular, a proposta é transformar subprodutos descartados em materiais com propriedades funcionais e potencial de aplicação tecnológica. As suspensões obtidas foram caracterizadas quanto ao diâmetro hidrodinâmico médio e índice de polidispersão (PDI) por espalhamento dinâmico de luz (DLS), sendo constatadas populações na escala nanométrica. Os espectros de absorção molecular no UV-Vis revelaram bandas associadas a estruturas grafíticas e grupos oxigenados, enquanto os espectros de emissão, obtidos a partir dos máximos de excitação, confirmaram fluorescência azul com picos em 460 nm (R@CQD) e 471 nm (M@CQD). Por fim, foram determinados os rendimentos quânticos, com valores de 0,56 e 0,70, respectivamente. Os resultados indicam que a metodologia empregada é eficiente e sustentável, permitindo a produção de materiais fluorescentes a partir de biomassas heterogêneas, com potencial de aplicação em sensores ópticos e sistemas fotocatalíticos.

Introdução

O modelo econômico linear, baseado na lógica de extrair, produzir e descartar, tem contribuído significativamente para o agravamento da crise ambiental, ao estimular o uso excessivo de recursos e a geração contínua de resíduos (BERG *et al*., 2018). Esse padrão resulta em impactos expressivos, sobretudo no setor agroindustrial, cuja produção em larga escala é acompanhada por enormes volumes de rejeitos orgânicos. Estimativas apontam que, até o final de 2025, mais de dois bilhões de toneladas de resíduos sólidos serão gerados, intensificando a urgência por sistemas produtivos mais sustentáveis (SINGH *et al*., 2023).

Diante desse cenário, a economia circular desponta como uma abordagem estratégica para reverter a lógica do desperdício, visto que, ao propor a reintegração de resíduos aos ciclos produtivos, por meio da redução, reutilização e reciclagem, ela busca otimizar o uso de recursos e mitigar os impactos ambientais (BERG *et al*., 2018). Tal perspectiva é reforçada pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 12, o qual defende práticas de consumo e produção responsáveis como fundamentos para um futuro ambientalmente equilibrado (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2025).

Uma das formas concretas de aplicar esses princípios está na valorização de resíduos agroindustriais, que, além de reduzir o descarte inadequado, viabiliza o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado, especialmente quando se considera que a composição rica em biomassa favorece a conversão em materiais funcionais por meio de processos térmicos e químicos (SINGH *et al*., 2023).

Nesse contexto, destaca-se o aproveitamento de fontes renováveis para a obtenção de tecnologias em escala nanométrica, com ênfase nos pontos quânticos de carbono (CQDs). Esses sistemas fluorescentes apresentam propriedades ópticas ajustáveis, elevada estabilidade química e ampla área superficial, sendo explorados em aplicações como sensores, bioimagem, fotocatálise e dispositivos optoeletrônicos (LIU *et al*.; ROMERO *et al*., 2021).

Tradicionalmente produzidos a partir de precursores sintéticos, os CQDs vêm sendo cada vez mais obtidos de resíduos orgânicos, em consonância com os princípios da sustentabilidade e da economia circular (CAMPALANI *et al*., 2022; ABU *et al*., 2023; MANJUBAASHINI *et al*., 2024). Dentre as rotas disponíveis, a carbonização assistida por micro-ondas tem ganhado relevância como técnica rápida e eficiente, capaz de converter biomassa em estruturas nanométricas com menor consumo de energia e sem o uso de reagentes tóxicos (DHANDAPANI *et al*., 2022).

Assim, no presente trabalho, propõe-se a síntese de CQDs a partir de rúmen bovino e de bagaço de malte, dois resíduos amplamente gerados pela agroindústria na região sul do Brasil, utilizando uma abordagem limpa e acessível. Os materiais obtidos foram caracterizados quanto ao tamanho de partícula e às propriedades ópticas, com o objetivo de avaliar o potencial deles como produtos de valor agregado no contexto da economia circular.

Dessa forma, ao integrar nanotecnologia, reaproveitamento de resíduos e responsabilidade ambiental, esse estudo busca investigar a viabilidade de soluções tecnológicas alinhadas aos princípios dos sistemas sustentáveis.

Materiais e métodos

Com o objetivo de avaliar o potencial de resíduos agroindustriais na produção de CQDs, foram realizadas sínteses a partir de rúmen bovino e bagaço de malte, utilizando uma abordagem de carbonização assistida por micro-ondas. Posteriormente, os materiais obtidos foram caracterizados quanto ao tamanho de partícula e às propriedades ópticas, conforme descrito a seguir.

Síntese dos CQDs

As biomassas precursoras, rúmen bovino e bagaço de malte, estão presentes respectivamente nas Figuras 1.a) e 1.b), sendo coletadas de indústrias locais da região de Maringá-PR. Ambos os materiais foram secos em estufa a 80 °C por 4 dias e, em seguida, triturados.



Figura 1: a)Rúmen bovino; b)Bagaço de malte. Fonte: Elaborado pelos autores.

Não foram encontrados relatos na literatura do uso de tais materiais na síntese de CQDs, indicando a originalidade da abordagem proposta. Por isso, optou-se pelo uso da carbonização assistida por micro-ondas pela praticidade e economia energética, sendo o módulo experimental constituído pelo forno de micro-ondas Provecto Analítica DGT 100 Plus apresentado abaixo:



Figura 2: Módulo experimental. Fonte: Elaborado pelos autores.

Detalhando o módulo, tem-se:

1. Parte externa do digestor;
2. Controlador que possibilita a variação da potência de irradiação e tempo de exposição;
3. Parte interna do digestor, evidenciando o prato giratório responsável por garantir aquecimento homogêneo durante a síntese;
4. Conjunto das peças do reator constituindo de um frasco interno, uma camisa de pressão, tampa com vedação e uma mola que atua como uma válvula de alívio de pressão;
5. Autoclave selada.

Além disso, o uso da carbonização assistida por micro-ondas tem se consolidado como uma alternativa atrativa devido aos resultados promissores na produção de nanomateriais (ROMERO *et al*., 2021). Assim, foi proposta uma rota de síntese utilizando irradiação por 10 minutos a 500 W, na qual aproximadamente 1 g de biomassa foi disperso em 10 mL de água destilada e acondicionado em autoclave selada para reação no forno de micro-ondas.

Após o tratamento, obteve-se uma fase semissólida, correspondente à biomassa impregnada com CQDs, a partir da qual os nanomateriais foram extraídos utilizando cerca de 60 mL de álcool etílico absoluto. A extração foi seguida por centrifugação a 3500 rpm durante 10 minutos, etapa em que o sobrenadante contendo os CQDs em suspensão foi recuperado. Para promover maior purificação, a suspensão final foi submetida a uma filtração a vácuo utilizando membrana de 0,22 µm.

Com o intuito de facilitar a identificação, as rotas foram codificadas da seguinte forma:

- R@CQD: sintetizados a partir de rúmen bovino;
- M@CQD: sintetizados a partir de bagaço de malte.

Caracterização dos CQDs

A fluorescência dos materiais foi inicialmente verificada sob radiação UV. Em seguida, os CQDs foram caracterizados por Espalhamento Dinâmico de Luz (do inglês: *Dynamic Light Scattering*, DLS) em um analisador de partículas *Litesizer* 500, visando à determinação do diâmetro hidrodinâmico médio, índice de polidispersão (PDI) e perfil de distribuição de tamanhos.

Foram também obtidos os espectros de absorção molecular na região UV-Vis em um espectrofotômetro *Shimadzu* UV1800 e os espectros de emissão em um espectrofluorímetro *Cary Eclipse*, os quais serviram de base para o cálculo do rendimento quântico de fluorescência (do inglês: *Quantum Yield*, QY) das amostras de acordo com a metodologia apresentada por Brouwer (2011).

Resultados e discussões

A seguir, são apresentadas as análises experimentais realizadas com o objetivo de investigar o potencial do rúmen bovino e do bagaço de malte como precursores sustentáveis na produção de pontos quânticos de carbono.

Verificação da fluorescência

A formação dos CQDs pode ser inicialmente identificada por características visuais, como a coloração amarelada das suspensões em luz visível, frequentemente associada à presença de estruturas carbonáceas com propriedades ópticas específicas (ROMERO *et al*., 2021). No presente estudo, tanto as amostras obtidas a partir do rúmen bovino (R@CQD) quanto do bagaço de malte (M@CQD) apresentaram esse aspecto característico logo após a síntese.

Sob radiação ultravioleta, ambas as suspensões emitiram fluorescência azul visível a olho nu, confirmando a presença de centros emissores nos materiais. A Figura 3 apresenta um comparativo entre o aspecto dos materiais sob luz branca e sob UV, permitindo observar de forma direta a mudança de comportamento óptico.

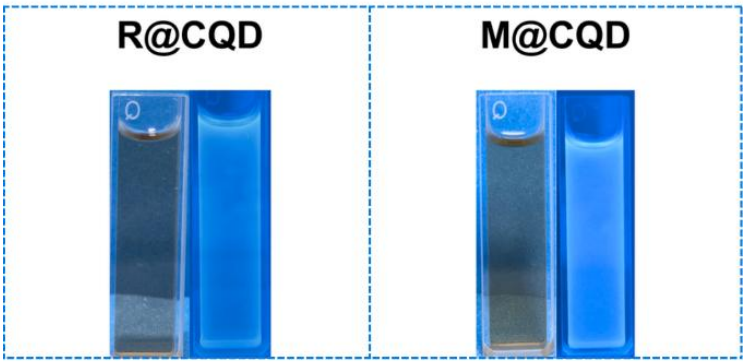


Figura 3: Exposição à luz visível versus luz UV. Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse comportamento preliminar reforça a hipótese de que os materiais sintetizados apresentam natureza fotoluminescente, investigada posteriormente por meio de análises espectroscópicas mais detalhadas.

Caracterização coloidal por DLS

A técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) foi utilizada para determinar o diâmetro hidrodinâmico médio e o índice de polidispersão (PDI) das suspensões de CQDs. Os valores médios encontrados foram de 247,1 nm para o R@CQD e 175,4 nm para o M@CQD, com PDI de 26,5% e 27,2%, respectivamente. O PDI representa o grau de dispersão dos tamanhos de partícula em suspensão: quanto maior o valor, maior a heterogeneidade. Em sistemas obtidos a partir de biomassa, como neste estudo, essa variabilidade é esperada devido à complexidade da matriz de origem.

Embora os valores de diâmetro estejam acima da faixa clássica de 1 a 100 nm, esse comportamento é compatível com sistemas coloidais e já foi observado em outros trabalhos, como o de Piasek et al. (2024). Em relação à dispersão, os índices de PDI observados estão de acordo com os reportados por Sawy et al. (2021), que identificaram variações entre 20% e 35% em nanomateriais de carbono aplicados à área biomédica.

A Figura 4 apresenta as curvas de distribuição de tamanho por intensidade, evidenciando a presença de subpopulações com diâmetro inferior a 100 nm, especialmente para R@CQD, o qual se destaca com uma distribuição cumulativa de 10% nessa região com o menor valor referente a 27,02 nm. Ainda que os tamanhos médios estejam acima do intervalo nanométrico, a presença dessas subpopulações e o comportamento óptico observado preliminarmente na Figura 3 sugerem a manutenção das propriedades típicas dos pontos quânticos.

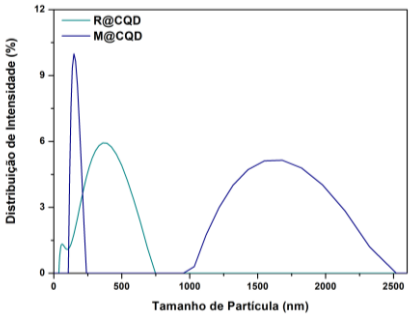


Figura 4: Distribuição populacional. Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, vale lembrar que o DLS estima o diâmetro hidrodinâmico, o qual inclui não apenas o núcleo das partículas, mas também a camada de solvatação e eventuais agregados, o que contribui para o aumento dos valores observados. Ainda assim, a fluorescência azul previamente verificada sob luz UV e discutida nas seções seguintes confirma a presença de centros emissores ativos. Isso sugere que os mecanismos ópticos não estão relacionados exclusivamente ao confinamento quântico, mas também à presença de grupos funcionais e aos estados de superfície, como apontado por Liu et al. (2021).

Propriedades ópticas por espectroscopia

A caracterização óptica por espectroscopia de absorção molecular no UV-Vis foi realizada para investigar as transições eletrônicas presentes nos materiais obtidos. A Figura 5 mostra os espectros normalizados de R@CQD e M@CQD, os quais revelam perfis típicos de pontos quânticos de carbono, com bandas largas e sem picos bem definidos, comportamento comum em materiais com matriz carbonácea heterogênea.

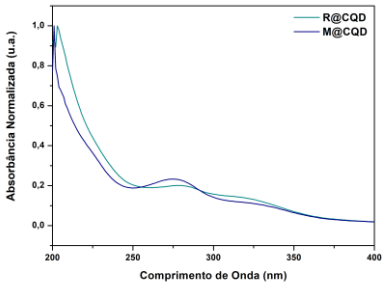


Figura 5: Espectros de Absorção Molecular no UV-VIS. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ambas as amostras apresentaram absorção significativa na região de 200 a 300 nm, com destaque para um pico em torno de 200 nm e um ombro por volta de 280 nm. Essas bandas são frequentemente atribuídas a transições π–π* de anéis aromáticos C=C, relacionadas à presença de estruturas grafíticas ou conjugadas (AHMED et al., 2018). Já a absorção entre 300 e 350 nm pode estar ligada a transições n–π*, típicas de grupos funcionais contendo oxigênio, como C=O e C–OH, o que sugere funcionalização superficial durante a síntese hidrotérmica.

Complementando essa análise, os espectros de emissão foram levantados com base nos comprimentos de excitação máximos de cada material, 380 nm para R@CQD e 394 nm para M@CQD, determinados previamente. Os resultados, apresentados na Figura 6, indicam emissão na região do azul visível, com máximos em 460 e 471 nm, respectivamente, corroborando a luminescência observada visualmente sob luz UV, Figura 3.

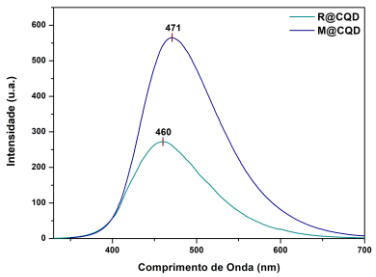


Figura 6: Espectros de Emissão. Fonte: Elaborado pelos autores.

Retomando a discussão sobre o tamanho de partícula da seção anterior, tem-se que a presença de emissão intensa mesmo em suspensões com diâmetros médios superiores a 100 nm reforça a hipótese de que mecanismos alternativos ao confinamento quântico, como grupos superficiais oxigenados, possam ser responsáveis pelo comportamento fotoluminescente (LIU et al., 2021).

Por fim, a semelhança, apesar das biomassas distintas, entre os espectros, tanto para o de absorção, Figura 5, quanto para o de emissão, Figura 6, sugere que a carbonização assistida por micro-ondas viabilizou a obtenção de CQDs com propriedades ópticas consistentes, destacando a eficácia dessa rota sintética simples, verde e versátil para aplicação em nanomateriais funcionais.

Determinação do rendimento quântico

Tal propriedade é uma medida fundamental da eficiência fotoluminescente de um material, sendo definido como a razão entre o número de fótons emitidos por fluorescência e o número de fótons absorvidos. Quanto maior o QY, ou seja, mais próximo de 1 ou 100%, mais eficiente é a conversão de energia luminosa absorvida em emissão fluorescente, sendo esse parâmetro crucial na avaliação de materiais para aplicações em bioimagem, sensores ópticos e dispositivos optoeletrônicos.

Neste trabalho, valeu-se do método relativo apresentado por Brouwer (2011), utilizando como padrão o sulfato de quinina, dissolvido em H_2SO_4 0,05 mol·L^{-1}, cujo valor de rendimento quântico é conhecido (Φ_R = 0,54). Essa abordagem baseia-se na comparação da intensidade de emissão integrada dos CQDs com a do padrão, desde que ambas as amostras apresentem valores semelhantes de absorbância no mesmo comprimento de excitação. Para isso, diferentes diluições foram preparadas tanto para o padrão quanto para os CQDs, com absorbâncias entre 0,01 e 0,1, minimizando efeitos de reabsorção. Em seguida, os espectros de emissão foram registrados utilizando 347 nm como fonte de excitação, valor determinado experimentalmente como sendo o comprimento de onda característico do sulfato de quinina, e as áreas sob as curvas de emissão, integradas de 360 a 660 nm, foram utilizadas como medida da intensidade fluorescente. A determinação da propriedade está descrita na Equação (1):

$$\Phi = \Phi_R . \left(\frac{\mathrm{m}}{m_R}\right) . \left(\frac{n^2}{n_R^2}\right) \qquad (1)$$

Onde: Φ é o rendimento quântico, m é a inclinação da curva da emissão integrada versus absorbância, e n é o índice de refração do meio. O índice R é utilizado para se referir ao padrão, e a ausência dele indica que a propriedade é referente ao CQD, lembrando que o sulfato de quinina está em uma solução H_2SO_4 0,05 mol·L^{-1}, enquanto que os nanomateriais estão presentes no solvente de extração (álcool etílico absoluto), cujos índices de refração foram iguais a respectivamente 1,302 e 1,358.

As curvas de calibração apresentadas na Figura 7 e demonstram excelente linearidade com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,997, evidenciando a confiabilidade da metodologia adotada.

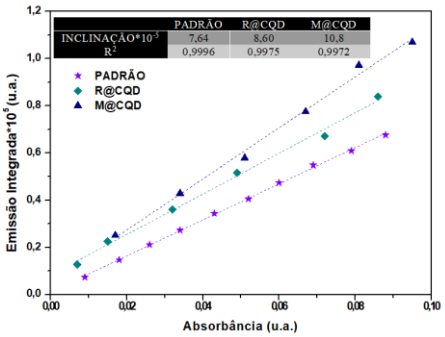


Figura 7: Emissão integrada versus Absorbância. Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da razão entre as inclinações das curvas e o fator de correção pelo índice de refração, os rendimentos quânticos obtidos foram de 0,56 para R@CQD e 0,70 para M@CQD, reforçando o forte potencial emissivo dos materiais sintetizados mesmo a partir de resíduos agroindustriais.

Comentários finais

O presente estudo demonstrou a viabilidade da utilização das biomassas rúmen bovino e bagaço de malte como precursores alternativos para a produção de pontos quânticos de carbono (CQDs) por meio de uma rota sintética verde, baseada na carbonização assistida por micro-ondas. As análises realizadas confirmaram a natureza fluorescente dos materiais, bem como propriedades ópticas e coloidais compatíveis com aplicações em sistemas funcionais.

A similaridade entre os CQDs obtidos, mesmo a partir de resíduos com naturezas distintas, reforça o potencial da metodologia proposta como uma alternativa acessível, sustentável e versátil para a valorização de resíduos no contexto da nanotecnologia. Dessa forma, ao alinhar-se aos princípios da economia circular, transformando subprodutos do agronegócio em materiais de alto valor agregado, o trabalho contribui com estratégias voltadas à redução do impacto ambiental e à promoção de cadeias produtivas mais eficientes.

Como continuidade, pretende-se direcionar os materiais para aplicações específicas, como sensores ópticos e sistemas fotocatalíticos, além de investigar modificações estruturais que possam ampliar a eficiência e seletividade em diferentes contextos tecnológicos.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a CNPq-FA-UEM pelo apoio recebido na condição de bolsista e aos laboratórios de Sistemas e Processos Químicos (LSPQ) e de Desenvolvimento de Processos Sustentáveis (LDPS), vinculados ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Referências Bibliográficas

ABU, N. *et al*. **Development of biomass waste-based carbon quantum dots and their potential application as non-toxic bioimaging agents.** RSC Advances, v. 40, 2023. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d3ra05840a. Acesso em: 28 abr. 2025.

AHMED, B. *et al*. **Facile synthesis and photophysics of graphene quantum dots.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 364, p. 671–678, 1 set. 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1010603018304969. Acesso em: 30 abr. 2025.

BERG, A. *et al*. **Circular economy for sustainable development.** Reports of the Finnish Environment Institute, n. 26, 2018. Disponível em:https://www.academia.edu/114022461/Circular_Economy_for_Sustainable_Development. Acesso em: 18 abr. 2025.

BROUWER, A. M. **Standards for photoluminescence quantum yield measurements in solution (IUPAC Technical Report).** Pure and Applied Chemistry, v. 83, n. 12, p. 2213-2228, 2011. Disponível em: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/PAC-REP-10-09-31/html?srsltid=AfmBOorwXHn2DuG2KIwA0VlGZAtEGB7M9G2CoPUxzmxbegdZ_jU9-28Q. Acesso em: 22 abr. 2025.

CAMPALANI, C. *et al*. **Fish-waste-derived gelatin and carbon dots for biobased UV-blocking films.** ACS Applied Materials & Interfaces, v. 14, n. 30, p. 35148-35156, 2022. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.2c11749. Acesso em: 18 abr. 2025.

DHANDAPANI, E.; DURAISAMY, N.; MOHAN RAJ, R. **Green synthesis of carbon quantum dots from food waste.** Materials Today: Proceedings, v. 51, p. 1696-1700, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320375854. Acesso em: 18 abr. 2025.

LIU, Y. *et al*. **A review of carbon dots and their composite materials for electrochemical energy technologies.** Carbon Energy, v. 3, n. 23, jul. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353396063_A_review_of_carbon_dots_and_their_composite_materials_for_electrochemical_energy_technologies. Acesso em: 18 abr. 2025.

MANJUBAASHINI, N.; BARGAVI, P.; BALAKUMAR, S. **Carbon quantum dots derived from agro waste biomass for pioneering bioanalysis and in vivo bioimaging.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 454, 1 set. 2024, p. 115702. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1010603024002466. Acesso em: 18 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: consumo e produção responsáveis.** Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12. Acesso em: 18 abr. 2025.

PIASEK, A. et al. **Fluorescence of D-piasaese-derived carbon dots: effect of process parameters.** Journal of Fluorescence, v. 34, p. 1693–1705, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10895-023-03392-z. Acesso em: 30 abr. 2025.

ROMERO, M. P. *et al*. **One-Pot Microwave-Assisted Synthesis of Carbon Dots and in vivo and in vitro Antimicrobial Photodynamic Applications.** Front. Microbiol., v. 12, 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.662149/full. Acesso em: 18 abr. 2025.

SAWY, A. M. et al. **Insights of doxorubicin loaded graphene quantum dots: Synthesis, DFT drug interactions, and cytotoxicity.** Materials Science and Engineering C, jan. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348904558_Insights_of_doxorubicin_loaded_graphene_quantum_dots_Synthesis_DFT_drug_interactions_and_cytotoxicity. Acesso em: 30 abr. 2025.

SINGH, A.; DIKSHIT, R.; SINGH, N**. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery products.** In: Green Technologies for Industrial Waste Remediation, nov. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/376062300_Valorization_of_Agro-Industrial_Wastes_for_Biorefinery_Products. Acesso em: 18 abr. 2025.

DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE COMPOSTAGEM DAS ESCOLAS MUNICIPAIS DE VIANA - ES

1Walquiria Vieira Dias Gava, 1Adriana Marcia Nicolau Korres

1Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, e-mail: walquiria.vdgava@gmail.com; 1Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, e-mail: adrianak@ifes.edu.br

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Orgânicos; Reciclagem.

Resumo

O trabalho possui como objetivo avaliar a viabilidade das escolas do município de Viana - ES para a implantação da compostagem. O diagnóstico foi realizado através da aplicação de um formulário com perguntas sobre o funcionamento e estrutura de todas as escolas da rede municipal localizadas em Viana-ES. Com base em critérios observados na literatura e em fatores básicos de estrutura e produção de resíduos sólidos orgânicos foram estabelecidos critérios mínimos de inclusão para participação das escolas. Os critérios de inclusão utilizados foram preparação de alimentos, espaço físico, interesse em participar do projeto, disponibilidade de funcionário para manutenção e professores interessados no projeto. Todas as escolas as 40 escolas presentes no município responderam ao questionário, destas 16 estão aptas para a implantação da compostagem, de acordo com os critérios de inclusão adotados. Com relação às escolas não aptas, foram avaliadas as principais razões para a inaptidão e realizadas propostas de possíveis soluções para que o maior número de escolas possa implantar composteiras. Alternativas para contornar os obstáculos identificados foram, por exemplo, o agrupamento de escolas em consórcios para que aquelas que não estejam aptas enviem seus resíduos para escolas aptas e a implantação de composteiras de menor volume onde não há essa possibilidade, a fim de que a compostagem possa ser estimulada, mesmo nas escolas que não possuem viabilidade imediata. Espera-se que o trabalho contribua para a melhoria da gestão dos resíduos sólidos orgânicos das escolas do município de Viana, bem como na redução do envio desses resíduos à aterros sanitários.

Introdução

Dados do ano de 2023 indicam que são gerados aproximadamente 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos (RS) por ano no Brasil. O crescimento da geração de resíduos acarreta sérios problemas ambientais e de saúde pública (ABRELPE, 2024).

Os resíduos sólidos orgânicos (RSO) no Brasil representam aproximadamente 50% do total de resíduos sólidos gerados, sendo quase que em sua totalidade, enviados para aterros sanitários. No entanto, parte desse material é passível de ser reaproveitado (ABRELPE, 2022).

As instituições de Ensino (IE), em função das atividades desempenhadas e da circulação de pessoas, geram diariamente uma grande quantidade de resíduos oriundos de diferentes atividades como limpeza, produção de alimentos, atividades administrativas e salas de aula. Desta forma, podem ser comparadas a pequenos núcleos urbanos (Klippel, 2015).

Sabe-se que existem grandes desafios relacionados ao reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, a educação ambiental colabora na promoção de ações que venham a auxiliar ao reúso de resíduos sólidos orgânicos. Sendo assim, uma alternativa para modificar a realidade desta problemática é a inserção desta cultura nas escolas, buscando disseminar conhecimento sobre ações e hábitos sustentáveis relacionados ao descarte de resíduos sólidos junto a crianças e jovens em idade escolar.

Neste sentido, é muito importante que as instituições de ensino possuam gerenciamento adequado destes resíduos e que os municípios tracem estratégias para minimizar o envio de resíduos orgânicos para os aterros sanitários. O diagnóstico da viabilidade vem a contribuir nesse ponto para que seja possível identificar antes da implantação da compostagem quais são os possíveis desafios que um local poderá enfrentar. Desta forma, a compostagem poderá ser realizada de forma planejada e organizada, possibilitando seu sucesso e continuidade.

Objetivos

Relatar o diagnóstico da viabilidade para implantação de compostagem com base na Etapa 1 da Ferramenta “Decida Compostar” em todas as escolas do município de Viana, ES.

Metodologia

O trabalho foi iniciado com a criação do Formulário de Diagnóstico baseado na Ferramenta “Decida Compostar” de Alvarenga (2023) na plataforma Google Forms. O “Decida Compostar” é um instrumento para recebimento de dados e identificação das possibilidades e particularidades de uma unidade escolar. O formulário foi utilizado para o levantamento da aptidão das escolas localizadas no município de Viana para a implantação de compostagem.

Para conseguir acesso às escolas do município, foi realizado um contato inicial para obter o apoio das Secretarias Municipais de Educação e de Meio Ambiente do Município de Viana - ES. O projeto foi apresentado às equipes envolvidas com o tema e para os Secretários das pastas.

As Secretarias manifestaram o interesse na execução do projeto. A seguir, a proposta foi apresentada aos diretores das escolas para orientações quanto ao preenchimento do formulário de diagnóstico.

A proposta foi introduzida em um encontro dos diretores para alinhamentos diversos. O projeto foi apresentado e foi informado que seria enviado um questionário solicitando informações gerais da estrutura e operação de cada escola.

Em seguida, o questionário foi enviado para todos os diretores das escolas ativas no município, localizadas em zona rural e urbana, obtendo retorno de todas as instituições de ensino da rede municipal.

Para a prática da compostagem, as escolas devem atender aos critérios de inclusão delimitados por esta pesquisa. Os critérios foram estabelecidos com base no que foi encontrado na literatura na definição de pontos chave para que a compostagem funcione nas escolas e também em fatores básicos de estrutura e produção de resíduos sólidos orgânicos.

Primeiramente, foi considerado o preparo de alimentos na Instituição de Ensino, tendo em vista que o objeto de interesse deste Projeto de Pesquisa são os Resíduos Sólidos Orgânicos provenientes das cozinhas das escolas. Portanto, para que uma escola possa participar do projeto, é necessário que ela tenha produção de alimentos e, consequentemente desse tipo de resíduo. Em seguida, foi observado o fator espaço físico, considerando apenas a resposta do diretor como "possui" ou "não possui", independentemente do tamanho disponível, embora os diretores tenham realizado a estimativa do espaço disponível no formulário. Nesse aspecto, para definição das composteiras a serem implementadas será utilizado novamente a Ferramenta "Decida Compostar" em sua segunda etapa, onde são definidos os tipos de composteira para cada tamanho de espaço disponível, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipo de composteira por espaço físico disponível

Espaço físico disponível	Tipo de Composteira
$< 2m^2$	Composteira de material de reúso
Entre $2m^2$ e $10m^2$	Composteira de material de reúso ou alvenaria
$> 10m^2$	Composteira de material de reúso, alvenaria, leira ou no solo

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2023)

Outra questão que deverá ser considerada para a análise da viabilidade das escolas é a disponibilidade de funcionário para realizar a manutenção da composteira. De acordo com Vázquez et al. (2020) para uma geração de 20kg/dia de RSO será necessário ao menos 1hora de trabalho por semana, sendo assim, para ser considerada viável a escola deverá dispor dessa mão de obra.

Além da mão de obra para operação da composteira, também deverá ser considerado se a escola possui professores com interesse em utilizar os equipamentos para fins didáticos, visto que, conforme apontado por Rada et al. (2016) melhores resultados são obtidos quando professores e demais servidores possuem papel ativo no processo de gestão de RS. O interesse das escolas em participar do projeto também foi fator imprescindível a ser considerado. Uma vez que será necessário dedicação e tempo para a implantação das composteiras, é indispensável que haja disposição dos envolvidos.

Os critérios de inclusão para implantar a compostagem considerados foram a preparação de alimentos, o espaço físico existente para a implantação da composteira, o interesse em participar do projeto, a disponibilidade de mão de obra para manutenção do equipamento e o interesse de professores na utilização da composteira para fins didáticos.

Após a aplicada a ferramenta, foram obtidas as informações de quais são as escolas que estão aptas à implantação da compostagem, bem como quais são as adequações necessárias para que as não aptas venham a tornar-se viáveis.

Resultados

O formulário foi enviado pela da Secretaria Municipal de Educação para todas as 40 escolas do município, obtendo 100% de retorno das Instituições de Ensino.

De acordo com os critérios de inclusão estabelecidos, a Tabela 2 apresenta os quantitativos de escolas que estão aptas à compostagem. Estes critérios foram selecionados, pois são determinantes para o sucesso do projeto, tendo em vista a sua importância nas fases de implantação e manutenção das composteiras.

Tabela 2 - Quantidade de escolas por critério de inclusão

Critério	Quantidade de Escolas
Preparação de alimentos	38
Espaço Físico	35
Interesse em participar do projeto	34
Disponibilidade de funcionário para manutenção	17
Professores interessados no projeto	26

Fonte: Elaborado pelas autoras

A Figura 1 demonstra a correlação dos dados levantados com os critérios de inclusão. Das 40 escolas localizadas no município, 38 realizam preparação de alimentos. Destas, 5 não possuem espaço físico e nem pessoa para realizar manutenção da composteira.

Das 38 escolas que realizam preparação de alimento, 33 tem espaço físico para implantação da composteira, no entanto, somente 16 possuem também funcionário disponível para realizar manutenção na composteira.

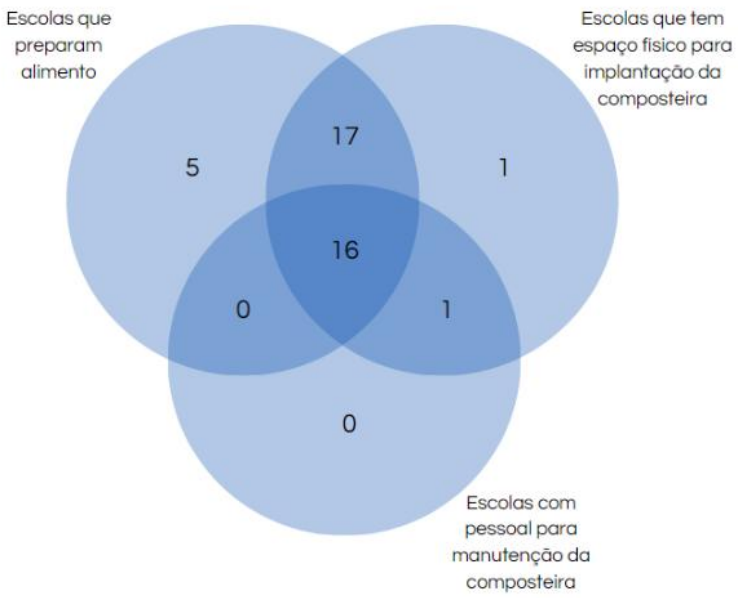


Figura 2 - Diagrama das escolas por critério de inclusão

Todas as escolas que possuem pessoa para dar manutenção possuem preparação de alimentos e espaço físico para sua implantação. No entanto, uma escola possui interesse na implantação da compostagem, espaço físico e pessoa para manutenção, mas não realiza preparação de alimentos.

De acordo com os critérios de inclusão estabelecidos neste trabalho, 16 escolas apresentam viabilidade para a implantação da composteira imediatamente.

24 escolas não estão aptas para a implantação da compostagem por diferentes razões. Para a realização da discussão das razões para a não viabilidade, foi considerado o trinômio "Preparação de alimentos", "Espaço físico" e "Pessoal para realizar manutenção na composteira". Entretanto, é relevante também observar as escolas que responderam à questão "A escola possui interesse na implantação de uma composteira?" de forma negativa. Nesses casos, o instrumento de levantamento de dados apresentava uma pergunta específica indagando a razão de não possuir interesse. O Quadro 1 traz a transcrição dos motivos informados pelas escolas.

Observa-se que seis escolas afirmaram não possuir interesse na implantação da compostagem. Dentre elas, três apresentaram como justificativa não possuir espaço para sua implantação, duas alegaram não possuir espaço e nem pessoal para manutenção e uma informou não possuir destinação final para o composto.

Conclui-se então que a falta de espaço é o principal fator para o desinteresse das escolas na participação do projeto. No total, cinco escolas informam não possuir espaço físico para a implantação da compostagem. Nesse ponto, destaca-se que não foram realizadas visitas às escolas para avaliação. As respostas foram dadas de acordo com o conhecimento prévio que cada diretor possui sobre a compostagem.

Apesar de o espaço físico ser uma questão muito relevante, o fator que mais determinou a não viabilidade das escolas foi a falta de pessoal disponível para a manutenção da composteira, que exclui 23 escolas.

Quanto à preparação de alimentos, somente duas escolas informaram não realizar a atividade em suas dependências. A questão não foi avaliada de forma profunda para entender como é realizada a alimentação dos estudantes.

Tendo as razões para a não viabilidade das escolas definidas, é possível analisar possibilidades para contornar os empecilhos encontrados. Das 16 escolas aptas, 13 encontram-se localizadas em área urbana e são estas escolas que serão observadas no presente trabalho, tendo em vista que todas as escolas localizadas em área rural já se encontram aptas para a implantação da compostagem.

As escolas do município estão distribuídas por 19 bairros, as que já se encontram aptas para a implantação da compostagem estão distribuídas por 13 bairros. Observando somente as escolas localizadas em área urbana, reduz-se para 10 bairros. Esta informação é relevante, tendo em vista a possibilidade da realização de agrupamentos das escolas em consórcios, para que as escolas não aptas enviem os seus resíduos para escolas aptas. A Tabela 3 apresenta a distribuição das escolas no município por bairro.

Tabela 3 - Distribuição do total de escolas e de escolas aptas por bairro

Número	Bairro	Quantidade de Escolas	Escolas aptas
1	Araçatiba	1	0
2	Areinha	2	1
3	Bom Pastor	2	2
4	Campo Verde	2	0

5	Canaã	2	0
6	Caxias do Sul	2	1
7	Industrial	2	2
8	Ipanema	2	1
9	Jucu	2	1
10	Marcílio de Noronha	5	2
11	Morada de Bethânia	3	0
12	Nova Bethânia	2	1
13	Primavera	1	0
14	Soteco	1	1
15	Universal	2	1
16	Viana Sede	2	0
17	Vale do Sol	1	0
18	Vila Bethânia	2	0
19	Zona Rural	3	3

Fonte: Elaborado pelas autoras

A Figura 2 apresenta um mapa com os bairros do município de Viana identificados através de números, conforme Tabela 2. No mapa é possível observar que vários bairros são limítrofes, facilitando a possibilidade de realizar agrupamentos entre escolas aptas e não aptas por proximidade. De acordo com a localização as escolas podem ser divididas em 6 grupos por critério de proximidade.

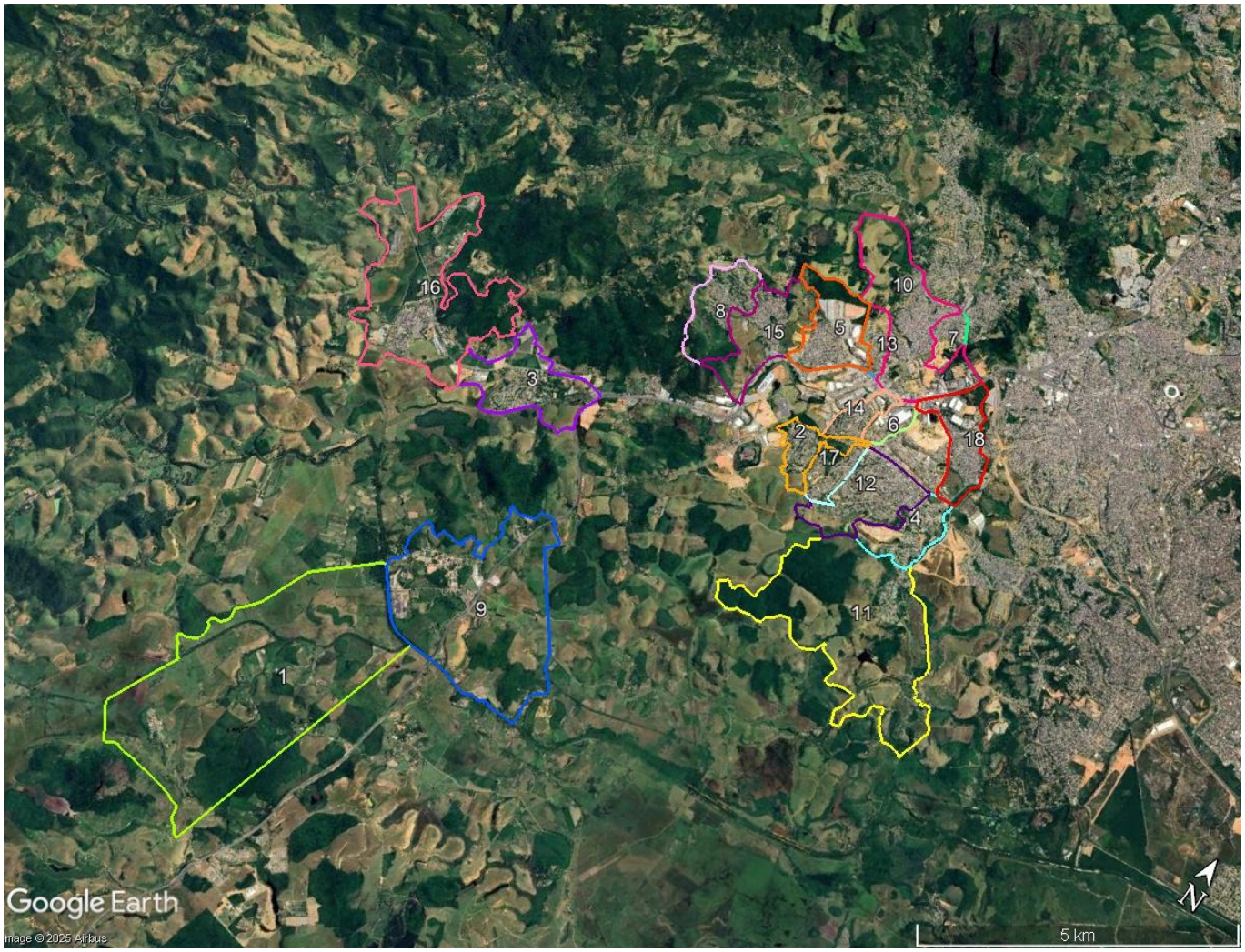


Figura 3 - Bairros de Viana

O Grupo 1 pode ser composto pelos bairros Marcílio de Noronha (10), Primavera (13) e Industrial (7). A composição possui oito escolas, sendo quatro aptas e quatro não aptas. Para a composição do Grupo 2 sugere-se o bairro Soteco (14), Caxias

do Sul (6) e Areinha (2). A região possui seis escolas, sendo metade apta e metade não apta. O Grupo 3 seria formado apenas pelo bairro Nova Bethânia (12). O bairro possui duas escolas, sendo uma apta e uma não apta. No Grupo 4, estariam os bairros Universal (15) e Ipanema. Em ambos os bairros existem duas escolas, sendo uma apta e uma não apta. O Grupo 5 é composto pelo bairro Jucu, que possui duas escolas, uma apta e uma não apta. Por fim, no Grupo 6 estariam os bairros Bom Pastor e Viana Sede. A composição possui quatro escolas, sendo duas aptas e duas não aptas.

A Tabela 4 ilustra os grupos descritos acima. Como pode ser observado, todos os grupos possuem a mesma quantidade de escolas aptas e não aptas, sendo assim cada escola não apta poderia enviar seus resíduos orgânicos para uma escola apta. Esta conformação é ideal, com a formação de seis consórcios, todos com duas escolas cada, desta forma evita-se a sobrecarga das escolas aptas.

Tabela 4 - Divisão dos consórcios

Grupo	Bairros	Quantidade de escolas aptas	Quantidade de escolas não aptas
1	Marcílio de Noronha, Primavera e Industrial	4	4
2	Soteco, Caxias do Sul e Areinha	3	3
3	Nova Bethânia	1	1
4	Universal e Ipanema	2	2
5	Jucu	1	1
6	Bom Pastor e Viana Sede	2	2

Fonte: Elaborado pelas autoras

Com a realização destes agrupamentos, seria possível inserir 13 escolas na realização da compostagem, apenas realizando o transporte dos resíduos dessas escolas não aptas para as escolas aptas. Porém, restariam ainda 12 escolas que não apresentam viabilidade para a implantação da compostagem, sendo 4 que relatam a falta de espaço e de pessoal disponível para a manutenção da compostagem e 8 apenas por não possuir pessoal para a manutenção da compostagem.

Diante deste cenário, a princípio é importante realizar visita nas escolas para avaliação do espaço disponível, a fim de verificar a possibilidade de implantação de composteiras para volumes menores de composto, apenas para fins didáticos.

Para as escolas que não possuem funcionário disponível para manutenção, pode-se realizar treinamentos nas escolas, tendo em vista que muitas escolas do município possuem matérias eletivas de livre escolha dos alunos. Poderia ser estudada a implantação de uma matéria optativa de compostagem, estimulando os estudantes a realizarem a implantação, acompanhamento e manutenção de composteiras de menor porte.

Ainda que não seja possível a realização da compostagem de todo o resíduo orgânico produzido na escola, a implantação da compostagem em pequena escala já contribui para o contato dos estudantes e funcionários da escola com a reciclagem do resíduo orgânico, contribuindo com a disseminação do conhecimento e até mesmo com a quebra dos paradigmas que a sociedade alimenta quanto aos resíduos orgânicos.

Conclusões

Das 40 escolas avaliadas, 16 encontram-se aptas à implantação imediata da compostagem. As demais instituições precisam de adequações para receber o equipamento.

Cinco escolas informaram não possuir espaço físico para a implantação da composteira. Neste caso, sugere-se a realização da visita para verificação de possibilidade de implantação de composteiras de pouco volume na vertical, ocupando um espaço menor. Caso não seja possível, pode-se estudar a implantação de consórcios entre escolas próximas, com as que não possuem espaço físico enviando seus resíduos para outra escola que possua.

Vinte e três escolas não possuem funcionário disponível para manutenção da composteira, sendo este o maior fator de inaptidão. Sabe-se que muitas das escolas do município possuem matérias eletivas de livre escolha dos alunos, desta forma, uma das soluções para esta questão poderia ser a implantação de uma disciplina eletiva sobre compostagem. Alternativamente, já foi iniciada conversa com a Prefeitura sobre a possibilidade de disponibilização de garis para a realização do trabalho.

O conhecimento das razões para a inaptidão das escolas permite um olhar mais específico sobre os obstáculos a serem superados, desta forma é possível estudar alternativas para que a compostagem seja estimulada mesmo em escolas que não tenham espaço, mão de obra e geração de resíduos para incentivar o conhecimento do tema e destacar sua importância.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Ifes e a Prefeitura Municipal de Viana pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Brasil: Grappa Marketing Editorial, 2022. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama/. Acesso em: 01 Junho 2023.

KLIPPEL, Adriana da Silva. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Escolas Públicas**. 2015. 41 f. Monografia

(Especialização) - Curso de Gestão Ambiental em Municípios, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Foz do Iguaçu, 2015.

ALVARENGA, Bruna Oliveira. **Planilha Digital para apoio à decisão para implantação de compostagem em instituições de ensino**. 2023. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.

RADA, Elena; BRESCIANI, Chiara; GIRELLI, Eleonora; RAGAZZI, Marco; SCHIAVON, Marco; TORRETTA, Vincenzo. Analysis and Measures to Improve Waste Management in Schools. **Sustainability**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 840-852, 24 ago. 2016. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su8090840. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/8/9/840. Acesso em: 29 jun. 2023.

VÁZQUEZ, M. A.; PLANA, R.; PÉREZ, C.; SOTO, M.. Development of Technologies for Local Composting of Food Waste from Universities. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 17, n. 9, p. 1-20, 1 maio 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17093153. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7246901/. Acesso em: 20 jun. 2023.

CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA E RESÍDUOS SÓLIDOS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO, NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ

1 Acsa da Costa Silva, 2 Laisa Costa Scherer, 3Amanda Estefânia de Melo Ferreira

1Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas – Bacharelado Interdisciplinar em Engenharia Sanitária e Ambiental, e-mail: acsacosi@gmail.com; 2 Engenheira Sanitarista e Ambiental – Grupo de Estudos e Atividades Socioambientais – GEASA – UFOPA, e-mail: laisascherer2014@gmail.com; 3 Universidade Federal do Oeste do Pará – Instituto de Formação Interdisciplinar e Intercultural , e-mail: amanda.ferreira@ufopa.edu.br

Palavras-chave: Restaurante Universitário, Resíduos Sólidos, PGRS

Resumo

A geração de resíduos em restaurantes universitários é elevada devido ao grande volume de alimentos e resíduos descartados diariamente. Analisar, quantificar e classificar são fundamentais para uma gestão eficiente, valorização de recicláveis, reduzindo o descarte em aterros. Este estudo analisou os resíduos do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal do oeste do Pará - UFOPA, utilizando caracterização gravimétrica e outras características físicas. Aplicamos métodos qualitativos, como um questionário com 15 perguntas para a nutricionista do restaurante, para obter informações detalhadas sobre operações e gestão de resíduos. Para métodos quantitativos, realizamos análises gravimétricas e de peso específico dos resíduos durante dez dias entre janeiro e fevereiro de 2023. Os dados foram tabulados e posteriormente realizamos análise estatística básica, cálculo de peso específico e composição gravimétrica percentual dos resíduos gerados no RU. Durante o período de 23/01/23 a 03/02/23, foram servidas 4.751 refeições, com média diária de 475,1 refeições. Foram gerados 936,38 kg de resíduos, destacando-se 0,197 kg per capita de resíduos totais, 728,20 kg de resíduos orgânicos (0,153 kg per capita) e 104,55 kg de resto ingesta (0,022 kg per capita). O peso específico no refeitório foi de 318,8 kg/m³. Recomenda-se um programa contínuo de educação ambiental para reduzir o desperdício de alimentos e melhorar a destinação dos resíduos.

1- Introdução

A preocupação com o meio ambiente nos espaços universitários é um tema emergente, que abrange a gestão integrada dos campi, seus impactos e, mais especificamente, a gestão dos resíduos gerados pelas diversas atividades realizadas. Além disso, é responsabilidade das universidades capacitar e preparar os futuros profissionais para questões de sustentabilidade, uma vez que suas decisões terão impacto no futuro da sociedade (SCHMITT et al., 2021). Levando em consideração as ações de sustentabilidade ambiental em restaurantes universitários, ao estudo gravimétrico de resíduos sólidos é uma ferramenta que pode ser utilizada tanto para tomada de decisões quanto para o dimensionamento de sistemas de gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos. Isso ocorre porque a gravimetria permite, juntamente com a taxa de geração de resíduos, estimar a quantidade gerada por cada categoria avaliada. Dessa forma, é possível aumentar a taxa de reaproveitamento e reciclagem de resíduos, tomar medidas para redução da geração, assim como reduzir a quantidade de resíduos encaminhada à disposição final e seus impactos socioambientais (MESQUITA et al., 2020). Esta pesquisa tem por objetivo diagnosticar a quantidade de resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário (RU) da Ufopa, identificando as principais fontes de geração e categorias de resíduos; determinar a quantidade de resíduos sólidos gerados per capita, a composição gravimétrica e o peso específico dos resíduos sólidos e propor soluções para o gerenciamento adequado dos resíduos gerados no restaurante universitário da Ufopa.

2- Materiais e métodos

2.1 - Área de estudo

A pesquisa foi realizada no restaurante universitário (RU) da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa). O RU é administrado pela Coordenação de Políticas Universitárias de Alimentação e Nutrição e foi reinaugurado em 9 de março de 2020, inicialmente servindo 400 refeições diárias e mais de 83 mil no ano de 2019 (UFOPA, 2020). O RU é operado por uma empresa terceirizada que fornece almoço e jantar, de segunda a sexta-feira, para graduandos, pós-graduandos, funcionários, docentes e servidores técnico-administrativos, vale ressaltar que o RU não funciona nos feriados. O valor da refeição é de R$ 3,00 para estudantes e R$ 10,77 para os demais (Figura 1) (UFOPA, 2023).

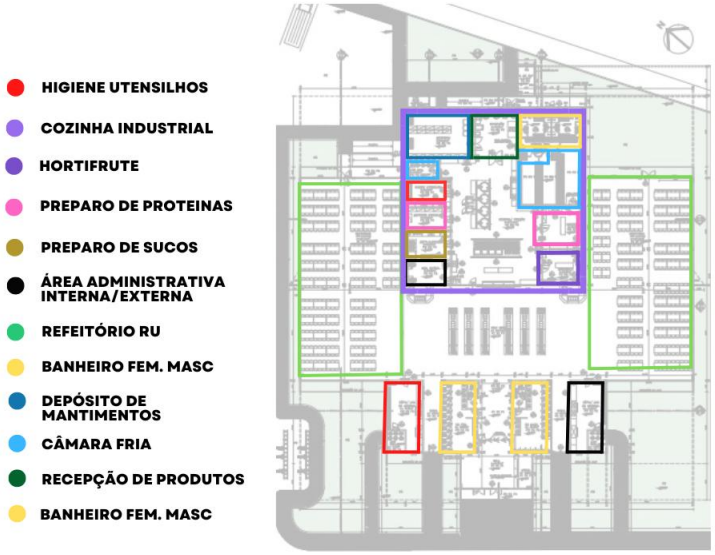


Figura 1: Identificação das dependências do RU/Ufopa, adaptado da planta baixa

2.2 - Levantamento de dados

As atividades de campo foram realizadas no período de 10 dias úteis (segunda a sexta), com início dia 23 de janeiro de 2023, finalizando dia 03 de fevereiro de 2023, após às 14h (encerramento das atividades de almoço). O levantamento de dados foi dividido em duas etapas:

Levantamento de dados qualiquantitativos dos resíduos gerados;

Levantamento de dados de gestão do RU e gerenciamento de resíduos no local;

2.3 - Levantamento de dados qualiquantitativos dos resíduos gerados

Para a condução do estudo, foi utilizada a definição de resíduos sólidos considerando a classe (I e II) conforme a ABNT 10004/2024 e classificação conforme a Origem a (Lei 12.205/2010) (figura 2).



Figura 2: Fluxograma de levantamento de dados qualiquantitativos para coleta de RS no RU/Ufopa

A determinação do peso específico dos resíduos sólidos do restaurante universitário seguiu um protocolo adaptado de Pereira Neto (2007) em três etapas: recepção dos resíduos, carregamento e pesagem, e registro e documentação.

2.4 - Levantamento de dados de gestão do RU e gerenciamento de resíduos no local;

2.4.1 - Funcionamento e refeições servidas no RU

O estudo foi realizado durante duas semanas de funcionamento do RU, de 23/01 a 3/02/2023. Evidencia-se no mínimo 348 almoços servidos na sexta-feira (03/02) e no máximo de 589 almoços na terça-feira (24/01), com a média de 475,1 kg (tabela 1).

Tabela 1 - Refeições servidas por dia para discentes, docentes e técnicos administrativos

Segunda 23/01/23	Terça 24/01/23	Quarta 25/01/23	Quinta 26/01/23	Sexta 27/01/23
527	589	578	537	514
Segunda 30/01/23	**Terça 31/01/23**	**Quarta 01/02/23**	**Quinta 02/02/23**	**Sexta 03/02/23**
386	443	473	356	348
Total de almoços servidos no período de coleta de 23/01/23 à 03/02/23				
4,751				

Fonte: Elaborado pelos autores

Durante os dias (23/01/23 a 03/02/23), o cardápio ofereceu uma variedade que incluiu creme de galinha, carne moída ao sugo, bisteca suína, lasanha de frango, pernil ao molho escuro, toscana acebolada , frango assado, bolinho de arroz com legumes, arroz branco, feijão-carioca, macarrão com ervas, beterraba cozida, farofa, torta de soja, feijão, macarronada, salada crua, farofa, doce e fruta de sobremesa.

2.5 - Análise de resultados

Após a tabulação dos dados em planilhas foram realizadas análises estatísticas básicas, bem como a determinação de peso específico utilizando as equações 1 e 2 (quadro 1), cálculo de composição gravimétrica de resíduos pela equação 3 e geração de resíduos per capita, usando a equação quatro (quadro 1)

Quadro 1 - Equações utilizadas para a avaliação quantitativa dos resíduos gerados no RU/Ufopa

Equações	Descrições
Determinação do peso específico recorreu-se às equações 1, 2, proposta por Barros (2012)	$Peso\ do\ material\ (kg) = Peso\ total\ (kg) - Peso\ do\ recipiente\ (kg)$ equação (1) $Densidade\ do\ material\ (kg/m^3) = \frac{Peso\ líquido\ do\ material\ (kg)}{Volume\ do\ recipiente\ (m^3)}$ equação (2)
Determinação da composição gravimétrica, proposta por Barros (2012)	$\%\ material = \frac{Peso\ do\ material\ (kg)}{\Sigma\ Soma\ dos\ pesos\ de\ todos\ os\ resíduos} x100$ equação (3)
Geração de resíduos *per capita,* adaptada do Instituto de Cidades Sustentáveis (2023)	$\frac{Nº\ total\ de\ resíduos\ gerados\ (kg)\ no\ RU}{Nº\ total\ de\ usuários\ no\ período}$ equação (4)

Fonte: Elaborado pelos autores

3 - Resultados e Discussão

Os resíduos identificados foram classificados conforme a origem d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços de acordo com Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.205/2010) e consoante a BRT – ABNT 10.004/2024, os resíduos orgânicos e os demais resíduos identificados no RU são considerados resíduo não perigoso de Classe II (quadro 2). Vale destacar que óleo de fritura usado a pesar de ser considerado resíduo não perigoso, fritura pode apresentar características que o tornam reativo e potencialmente prejudicial ao meio ambiente se descartado de maneira inadequada (HONÓRIO, 2021).

Quadro 1 - Classificação dos RS do restaurante universitário da Ufopa

RESÍDUO	NBR 10.004/2024	FONTE DE GERAÇÃO
	CLASSE	
Alumínio (marmita suja de alimentos)	II	Todos os setores
Desperdício (resto ingesta)	II	Cozinha, Refeitório
Embalagem longa vida	II	Cozinha
Metal (Latas de aço/ferro fundido)	II	Cozinha, Refeitório
Óleo de cozinha	II	Cozinha
Papel/papelão de embalagem de alimentos	II	Cozinha, Área administrativa
Plástico (embalagens de alimentos (LDPE), plásticas 7 polipropileno bi-orientado (BOPP), plástico 5 polipropileno (PP)	II	Todos os setores
Rejeito	II	Todos os setores
Resíduo orgânico (resto de alimentos, ossos e cascas)	II	Todos os setores
Têxtil (pano multiúso contaminado com óleo de preparo)	II	Cozinha, Refeitório
Embalagem de Isopor (lanche, alimentos)	II	Cozinha, Área administrativa
Misto (embalagem com parte feita de plástico e outra de metal)	II	Área administrativa
Madeira (espetinho de churrasco)	II	Área administrativa
Vidro (recipiente de alimentos)	II	Cozinha

Fonte: Elaborado pelos autores

3.1 - Quantificação geral dos resíduos sólidos no RU

O total acumulado de resíduos sólidos gerados atingiu 936,94 kg para um total de 4.751 refeições servidas, com a média de resíduos per capita, igual 0,197 kg/comensal/dia, uma média de 93,69 kg de resíduos gerados, onde a média de 12,25 kg são de resto-ingesta (tabela 2). Já no estudo de Alves (2015) obteve-se uma média per capita 0,197 kg/comensal/dia de resíduos sólidos por refeição servida no almoço. O qual tem valor aproximado de geração de resíduo médio per capita ao encontrado neste estudo.

Tabela 2 -Quantificação geral dos resíduos sólidos no período de coleta de 23/01/23 à 03/02/23 no RU/Ufopa

Período estudado 23/01 a 03/02/23	GRS Total (C&R) (kg)	Refeitório (kg)	Cozinha (kg)	Ingesta (kg)	GRS Per capita (kg comensal-1)	Injesta (kg comensal-1)	Comensal dia
Média	93,69	47,23	44,88	12,25	0,201	0,216	475,10
GRS Geral	936,94	472,31	448,85	110,25	0,197	0,023	4751,00
Per capita				0,197			

Fonte: Elaborado pelos autores

Em estabelecimentos self-service, como no RU, os índices de sobra e resto de ingestão expressam o desperdício, destacando a importância do controle desses indicadores pelas Unidades de Alimentação e Nutrição (UAN) devido aos impactos ambientais (RIBEIRO, 2020; BRITO, 2023).

3.2 - Quantificação dos resíduos sólidos orgânicos gerados no RU

A análise dos dados revela um panorama da geração de resíduos orgânicos no Restaurante Universitário (RU), a qual atingiu 728,20 kg, com a média per capita de 0,153 kg/comensal/dia, com média de 0,156 kg de resíduos orgânicos gerados, onde a média de 0,029 kg são de resto-ingesta (tabela 3).

Tabela 3 -Quantificação geral dos resíduos sólidos no período de coleta de 23/01/23 à 03/02/23 no RU/Ufopa

Período estudado 23/01 á 03/02/23	GRS Total (C&R) (Kg)	Refeitório (Kg)	Cozinha Kg)	Ingesta (kg)	GRS Per capita (kg comensal-1)	Injesta (kg comensal-1)	Comensal dia
Média	72,82	36,7	36,34	13,07	0,156	0,029	475,1
GRS Geral	728,2	366,97	361,23	104,55	0,153	0,022	4751,00
Per capita				0,153			

Fonte: Elaborado pelos autores

3.3 - Composição gravimétrica dos resíduos do RU

A predominância geral de materiais orgânicos representa 90,44% no RU da UFOPA é composto por restos de alimentos e componentes biodegradáveis, seguido de plástico 5,79% e papelão 1,83%, já no refeitório os resíduos orgânicos são de 97,35%, plásticos 1,37% , metais 0,45% e rejeito 0,33%, a distribuição dos resíduos orgânicos na cozinha correspondendo a 82,38% do total. A composição gravimétrica na área administrativa do restaurante revela que 57,24% dos resíduos são materiais orgânicos, principalmente restos de comida. O papel representa 10,39%, plásticos 16,18%, e o metal, proveniente de latas de bebidas e alimentos enlatados, 1,45%. Os rejeitos somam 12,86% e outros materiais, como isopor, constituem 1,87% (Figura 05).

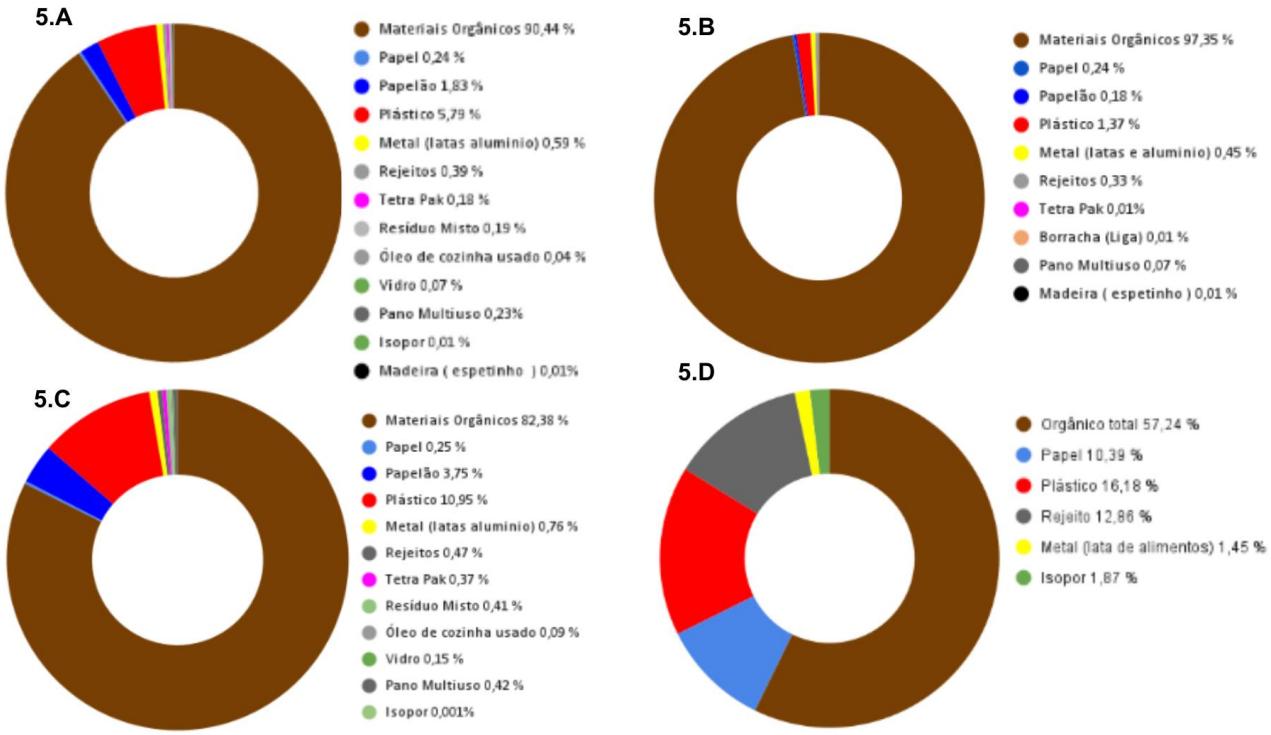


Figura 05. 5. A. Composição geral de RS no RU. 5. B. Composição de RS gerados no refeitório do RU - 5. C. Composição gravimétrica de RS na cozinha do RU. 5. D. Composição de RS gerados na administração interna e externa do RU

3.4 - Quantificação dos resíduos sólidos gerados no banheiro do RU

Nos banheiros masculinos e femininos, um total de 8,858 kg de rejeitos foi acumulado durante duas semanas, com a média de 1,655 kg (tabela 4).

Tabela 4 - Total de rejeitos gerados no banheiro feminino e masculino no RU/Ufopa

Total de rejeito gerados no banheiro feminino e masculino no período de coleta de 23/01/23 à 03/02/23	
Total	8,85
Média	1,65

Fonte: Elaborado pelos autores

3.5 - Peso específico dos resíduos sólidos no RU

O peso líquido médio foi de 29,67 kg/m³ e o peso específico total é de 318,81 kg/m³ com e o peso específico 12,40 kg/m³ no período de coleta de 23/01/23 à 03/02/23. O Erro Padrão (EP) médio é 9,03 ± 29,11 DP (Desvio Padrão). O desvio padrão mede a dispersão dos dados, enquanto o erro padrão reflete a precisão da média. Um desvio padrão maior indica maior variabilidade, e um erro padrão menor indica maior confiabilidade na estimativa da média (DORIA FILHO, 2003).

Considerações finais

A análise da geração de resíduos no restaurante universitário evidenciou um volume significativo de descarte, totalizando 936,94 kg no período estudado, com uma média de 29,67 kg por dia e um peso específico total de 318,8 kg/m³. A variedade de materiais encontrados, inclui desde resíduos orgânicos até recicláveis como alumínio, vidro e plásticos, reforça a urgência na adoção de medidas sistemáticas e contínuas de gestão de resíduos. As propostas apresentadas abrangem desde a educação ambiental até práticas como compostagem, biodigestão, controle de estoque e coleta seletiva, visam reduzir o impacto ambiental, mas também promover uma cultura de sustentabilidade e responsabilidade coletiva dentro do restaurante universidade. O sucesso dessas ações depende do comprometimento institucional e da participação ativa de todos os envolvidos: gestores, funcionários e usuários.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer GEASA, e a Universidade Federal do Oeste do Pará pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

SCHMITT, Luciane; KITZMANN, Dione Iara Silveira. **Gestão ambiental nas universidades:** um olhar sobre as ações de gestão de resíduos na Universidade Federal do Rio Grande-FURG. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2021.

MESQUITA, de S. Amanda et al. **Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos:** uma Análise Gravimétrica Pontual em uma Instituição de Ensino Federal do Nordeste Paraense, 2020.

DORIA FILHO, Ulysses. Introdução à bioestatística. **Para simples mortais**, v. 3, 2003.

ALVES, Mariana Gardin. **Análise da geração de resíduos sólidos em uma unidade de alimentação e nutrição:** estudo de caso. 2015.

RIBEIRO, J. S. (2020). **Indicadores de desperdício de alimentos em restaurantes comerciais** [Brasil]. Rosa dos Ventos, 12(2), 350-365.

BRITO, Herbenny Hellen Medeiros de; VÉRAS, Ítala Viviane Ubaldo Mesquita; SOUZA, Kátia Regina. **Avaliação de índice de resto-ingesta em uma unidade de alimentação e nutrição de um restaurante universitário.** Research, Society and Development, v. 12, n. 6, p. e6312642032-e6312642032, 2023.

Honório Crislaine. **As soluções para resíduo de óleo de cozinha, o reuso como estratégia para diminuição do impacto ambiental causado pelo óleo de cozinha**. 2021. Disponível em<http://plone.ufpb.br/proex/contents/noticias/noticias-das-acoes-de-extensao/noticias-das-acoes-de-extensao_4/as-solucoes-para-residuo-de-oleo-de-cozinha>. Acesso em: 04 maio de 2025.

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA SEMENTE DO CUPUAÇU COMO INDICADOR NATURAL DE pH

1Douglas Luiz Mazur, 2Jennifer Vitoria Novosad Nascimento, 3Aline Coqueiro, 4Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe, 5Thiago Peixoto De Araujo, 6Maria Angélica Simoes Dornellas de Barros.

1Universidade Estadual de Maringá, e-mail:douglasluizmazur@gmail.com; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail:jennifer.nnovosad@gmail.com; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: alinedqi@utfpr.edu.br; 4Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ericawatanabe@utfpr.edu.br; 5Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: thiagoaraujo@utfpr.edu.br; 6Universidade Estadual de Maringá, e-mail:masdbarros@uem.br.

Palavras-chave: Biomassa amazônica; indicador de pH; resíduos agroindustriais.

Resumo

A crescente geração e descarte de resíduos agroindustriais motivam a busca por alternativas para reaproveitamento e reinserção destes resíduos na cadeia produtiva. Neste contexto, o presente trabalho avaliou o potencial do resíduo da extração do óleo de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), obtido por extração assistida por ultrassom com etanol, como um indicador natural de pH. Um extrato aquoso do resíduo foi preparado e testado em titulações ácido-base do ácido ascórbico com hidróxido de sódio, tanto por meio visual quanto por titulação potenciométrica. O extrato apresentou mudanças de coloração nítidas e reprodutíveis próximas ao ponto de equivalência teórico, demonstrando boa concordância com os dados potenciométricos. Observou-se que o extrato também participa da reação ácido-base, o que deve ser considerado na padronização do método. Os resultados confirmam a viabilidade do reaproveitamento do resíduo como indicador natural de pH promovendo a reutilização inédita deste resíduo pouco explorado.

Introdução

Indicadores de pH são substâncias orgânicas que mudam de cor conforme a acidez ou basicidade do meio, devido à variação estrutural ocasionada pela presença ou ausência de prótons, resultando na mudança da cor conforme o pH da solução (TERCI, 2002). Indicadores e equipamentos como a fenolftaleína, o papel tornassol, o papel indicador e os pHmetros são frequentemente utilizados na determinação de pH de soluções (NUNES, 2022). No entanto, muitos destes indicadores possuem potencial tóxico. A fenolftaleína, por exemplo, foi associada a processos carcinogênicos e à alteração no gene p53 -mutação comumente encontrada em diversos tipos de câncer-, além de ser classificada como um contaminante de preocupação emergente (SAMUEL, 2025).

Diante desse cenário, cresce o interesse pelo desenvolvimento de indicadores naturais a partir de corantes naturais que sejam abundantes, mais sustentáveis e ambientalmente adequados (SONG, 2024). Os corantes naturais se enquadram em quatro categorias principais: as clorofilas, responsáveis pela coloração verde; os flavonoides, que incluem as antocianinas responsáveis por tons de roxo; os carotenoides, com cores que variam do amarelo ao laranja; e as betalaínas, que apresentam tons de vermelho ao amarelo (NABI, 2023).

Além disso, é importante ressaltar que a titulação visual, amplamente utilizada para a determinação do pH, possui limitações práticas, especialmente em soluções com efeito tampão, que dificultam a identificação do ponto final com precisão. A titulação potenciométrica, por sua vez, permite determinar o ponto de equivalência (PE), sendo detectado pela mudança abrupta no potencial, que é registrado no gráfico de força eletromotriz contra o volume de solução titulante. Esse método não depende da coloração da amostra ou da percepção visual do analista (OSAWA, 2006).

Compreendendo a necessidade de alternativas mais seguras e sustentáveis, é pertinente considerar também a riqueza da biodiversidade brasileira, especialmente no que diz respeito às suas frutas. Segundo o portal da Embrapa (2022), o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia. Entre os frutos cultivados no país, destaca-se o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), produzido a partir do cupuaçuzeiro, uma árvore nativa da Floresta Amazônia, cujo cultivo é predominante nas regiões do Norte e Nordeste do Brasil (MENDONÇA, 2019). A polpa do fruto é amplamente utilizada e apreciada na produção de sucos, sorvetes, cremes, geleias, entre outros alimentos, devido ao seu sabor ácido e característico (MENDONÇA, 2019; DE OLIVEIRA, 2013; CARDOSO, 2011).

Apesar da sua ampla utilização, a polpa corresponde a apenas cerca de 30% do fruto, enquanto a casca representa entre 40% e 50% e as sementes, aproximadamente 15% a 20% (DA SILVA, 2024), resultando um volume significativo de material que, em grande parte, não é aproveitado diretamente na cadeia produtiva. As sementes contêm alto teor de gordura (cerca de 62%) e características semelhantes às da manteiga de cacau. No entanto, ainda são pouco exploradas para esse propósito, sendo, em sua maioria, destinadas à alimentação animal, o que evidencia o potencial de valorização por meio da extração de óleo (DE AZEVEDO, 2003).

Mesmo quando as sementes são aproveitadas para a extração do óleo, ainda resta um volume expressivo de resíduo sólido, que pode apresentar compostos bioativos de interesse. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial do resíduo da extração do óleo da semente de cupuaçu como indicador natural de pH, visando seu reaproveitamento em aplicações sustentáveis e de valor agregado.

Materiais e métodos

Origem do resíduo e obtenção do extrato

O resíduo utilizado no presente trabalho foi obtido da extração assistida por ultrassom (EAU) do óleo de cupuaçu. Para a extração do óleo a partir das amêndoas realizou-se a abertura e a remoção destas por um processo conhecido como despolpamento, no qual a polpa é utilizada no preparo de sobremesas e sorvetes, enquanto as amêndoas, muitas vezes, são consideradas resíduo agroindustrial. Após o despolpamento as amêndoas destinadas à extração de óleo foram secas, higienizadas e moídas com uma granulometria entre 0,5 mm a 0,83 mm.

O óleo das amêndoas foi extraído utilizando banho ultrassônico com temperatura controlada de 50 °C por 1 hora, utilizando etanol como solvente extrator em uma proporção 1:5 (m/v). O material foi então filtrado, separando-se o óleo com o solvente do resíduo sólido. O óleo foi evaporado por rotoevaporação, e o resíduo foi seco em estufa a 50 °C por 24 horas.

Para o preparo do extrato aquoso, utilizou-se a proporção 1:20 (m/v) de resíduo para água destilada. Essa mistura foi novamente levada ao banho ultrassônico a 50 °C por 1 hora. Após a filtração, obteve-se um extrato aquoso de coloração amarronzada. Este extrato foi utilizado no presente estudo como indicador de pH.

Titulações empregando o extrato do resíduo da extração de óleo de cupuaçu como indicador

A fim de avaliar a eficácia do extrato como indicador ácido-base, realizaram-se dois tipos de titulação: a titulação potenciométrica, com monitoramento contínuo do pH em função do volume de titulante (NaOH) adicionado, e a titulação visual, na qual o ponto de viragem foi identificado pela mudança de coloração do extrato.

Titulação visual

Realizou-se a titulação visual com o objetivo de avaliar a eficiência do extrato aquoso obtido do resíduo da extração de óleo de cupuaçu como indicador ácido-base. Para isso, empregou-se uma bureta contendo uma solução de NaOH 0,5 mol.L^{-1} como titulante. O titulado foi preparado adicionando 45 mL de solução de ácido ascórbico (0,1 mol.L^{-1}) e 5 mL de extrato aquoso de cupuaçu, obtendo-se uma solução final com concentração de 0,09 mol.L^{-1} de ácido ascórbico. A solução foi titulada lentamente com o NaOH da bureta, sendo observada visualmente a mudança de coloração do extrato.

Titulação potenciométrica

Preparou-se uma solução de ácido ascórbico 0,1 mol.L^{-1}, utilizada como titulado, e uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol.L^{-1}, utilizada como titulante. Assim como a metodologia empregada na titulação visual, foram adicionados 45 mL de solução de ácido ascórbico e 5 mL de extrato aquoso de cupuaçu, resultando em uma concentração final de ácido ascórbico de 0,09 mol.L^{-1}. Embora a adição do indicador não seja essencial na titulação potenciométrica, ele foi adicionado a fim de reproduzir as mesmas condições experimentais da titulação visual. A titulação foi conduzida com adições sucessivas de alíquotas de 0,5 mL de NaOH até a aproximação do ponto de viragem previamente determinado por titulação visual. A partir desse ponto, os volumes adicionados foram reduzidos para 0,2 mL, com o objetivo de refinar a detecção do ponto de equivalência. O procedimento foi realizado sob agitação constante, utilizando agitador magnético, e o monitoramento do pH foi feito por meio de um pHmetro eletrônico.

Resultados e discussão

Cálculo da quantidade teórica de NaOH

A reação presente na titulação do ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) com hidróxido de sódio (NaOH) é apresentada na Equação 1. Essa reação é caracterizada como uma neutralização ácido-base. Durante essa reação, o grupamento ácido do ácido ascórbico sofre desprotonação, resultando na formação do ânion ascorbato ($C_6H_7O_6^-$), que se associa ao cátion sódio proveniente do NaOH, formando o sal ascorbato de sódio ($C_6H_7O_6Na$) e simultaneamente forma uma molécula de água (H_2O).

$$C_6H_8O_6 + NaOH \rightarrow C_6H_7O_6Na + H_2O \qquad \text{(Equação 1)}$$

Para estimar a quantidade teórica de hidróxido de sódio (NaOH) necessária para neutralizar o ácido ascórbico presente na solução, considerou-se que foram adicionados 45 mL de uma solução 0,1 mol.L^{-1} de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) a 5 mL do extrato aquoso de cupuaçu, totalizando 50 mL de solução. A concentração final do ácido ascórbico (C_{final}) na solução foi calculada pela Equação 2, utilizando a quantidade de mols presente em 45mL de ácido ascórbico 0,1 mol.L^{-1} sobre o volume final da solução com a adição de 5 mL do indicador, resultando na concentração final de ácido ascórbico na solução de 0,09 mol.L^{-1}.

$$C_{final} = \frac{0{,}0045\ mol}{0{,}050\ L} = 0{,}09\ mol.L^{-1} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Considerando que a reação entre ácido ascórbico e hidróxido de sódio ocorre na proporção estequiométrica de 1:1 e que a quantidade de mols de ácido ascórbico na solução é de 0,0045 mol, a quantidade de mols de NaOH necessária para a

neutralização também é de 0,0045 mol. Para determinar o volume de solução de NaOH (0,5 mol L^{-1}) necessário, aplicou-se a Equação 3 onde V_{NaOH} é o volume de NaOH necessário; n é o número de mols de ácido ascórbico; C é a concentração de NaOH.

$$V_{NaOH} = \frac{n}{C} = \frac{0{,}0045\ mol}{0{,}5\ mol.L^{-1}} = 0{,}009\ L = 9\ mL \qquad \text{(Equação 3)}$$

Portanto, teoricamente, espera-se que 9,0 mL de NaOH 0,5 mol.L^{-1} sejam suficientes para atingir o ponto de equivalência da titulação.

Titulação visual

Durante a titulação visual, foi observada uma mudança gradual e perceptível na coloração da solução contendo ácido ascórbico e o extrato aquoso do resíduo de cupuaçu. Inicialmente, a solução apresentou coloração amarelo-palha (pH ≈ 2,9). À medida que a solução de NaOH 0,5 mol.L^{-1} era adicionada, a coloração tornou-se transparente em torno de pH 5,3, indicando uma zona intermediária de neutralização. Com o prosseguimento da titulação, por volta do pH 8,7, a solução adquiriu uma coloração amarela intensa, semelhante à tonalidade do corante amarelo de tartazina, marcando visualmente o ponto de viragem. Esse comportamento é característico de indicadores de pH, que são substâncias com propriedades físicas, como a cor, que mudam abruptamente no ponto de equivalência ou próximo a ele (HARRIS, 2017). A mudança de coloração ocorre em uma faixa de pH estreita, porém bem definida, o que permite sua aplicação eficiente na identificação do ponto de equivalência durante titulações ácido-base (TERCI, 2002).

A Tabela 1 apresenta os volumes de NaOH utilizados e os valores de pH medidos no ponto de viragem identificado visualmente em cada uma das três repetições realizadas.

Tabela 1 – Volume de NaOH e pH após a titulação visual utilizando extrato de cupuaçu como indicador

Triplicata	Volume NaOH (mL)	pH após a titulação
1	9,2	9,01
2	9,2	8,48
3	9,3	8,94

Fonte: Autoria própria.

A média dos volumes adicionados no ponto de viragem foi de 9,23 mL, valor que apresenta boa concordância com o volume teórico de 9,0 mL calculado com base na reação estequiométrica entre 0,0045 mol de ácido ascórbico e NaOH 0,5 mol.L^{-1}. Essa proximidade sugere que o extrato apresenta um comportamento confiável como indicador visual, possibilitando uma viragem nítida e coerente com os dados obtidos por titulação potenciométrica.

A Figura 1 apresenta os erlenmeyers utilizados no ensaio com as três principais faixas de pH observadas e suas respectivas colorações: amarelo-palha (pH 2,9), solução transparente (pH 5,3) e amarelo mel mais intenso (pH 8,7).

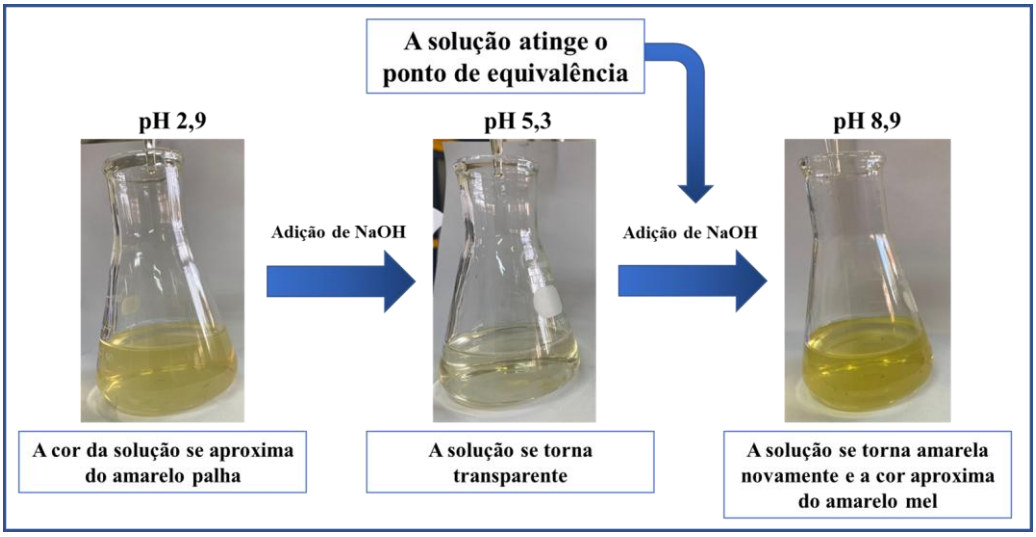


Figura 1. Mudança de coloração durante a titulação do ácido ascórbico com NaOH utilizando o extrato de resíduo de cupuaçu como indicador.
Fonte: Autoria própria.

Durante a titulação visual, foi possível observar uma transição gradual de coloração da solução contendo o extrato do resíduo de cupuaçu. Inicialmente, a mistura apresentava tonalidade amarelo-palha, passando por um estágio de transparência em torno do pH 5,3 até adquirir uma coloração amarelo-mel intensa no ponto de viragem atingido com a adição de NaOH 0,5 mol.L^{-1}. O ponto de viragem foi definido visualmente como o momento em que ocorreu a mudança clara e estável da solução de transparente para o amarelo-mel, indicando a neutralização do ácido. A nitidez dessa transição de cor evidencia o potencial do extrato como um indicador natural eficaz para titulações ácido-base.

Titulação potenciométrica

A Figura 2 mostra a curva de titulação potenciométrica (pH vs. volume de NaOH adicionado). Observa-se uma inflexão acentuada entre os volumes de 8,8 e 9,4 mL, sugerindo o ponto de equivalência.

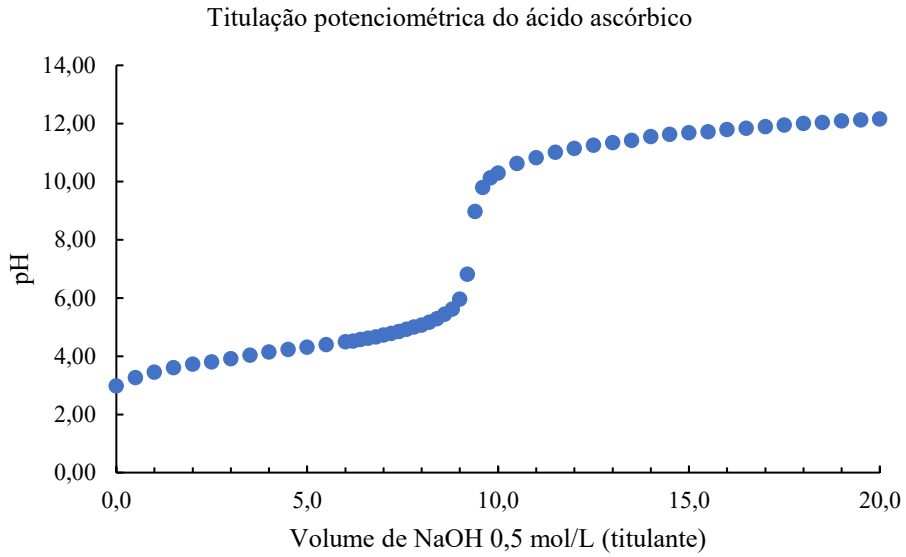


Figura 2. Curva de titulação potenciométrica do ácido ascórbico com NaOH na presença de extrato de cupuaçu como indicador natural de pH.
Fonte: Autoria própria.

Para a determinação mais precisa do ponto de equivalência, aplicou-se o método da primeira e segunda derivada da curva de titulação. A primeira derivada (ΔpH/ΔV) foi calculada e representada em função do volume médio de titulante (Figura 3). O valor máximo da primeira derivada (em torno de 9,4 mL) indica a maior taxa de variação de pH por volume, correspondendo ao ponto de viragem pela metodologia empregada, porém ainda podemos utilizar a segunda derivada para refinar o resultado.

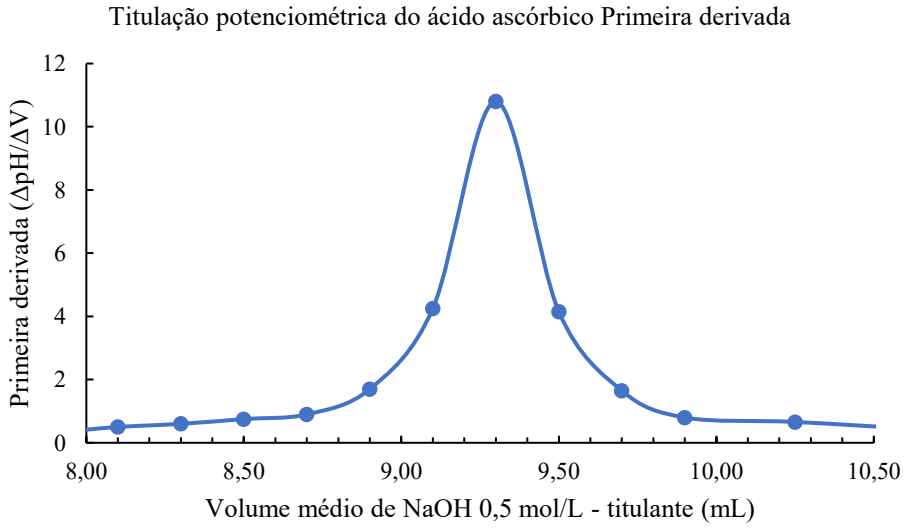


Figura 3. Primeira derivada (ΔpH/ΔV) em função do volume médio de NaOH adicionado.
Fonte: Autoria própria.

A segunda derivada ($\Delta^2pH/\Delta V^2$), por sua vez, foi utilizada para refinar o resultado do ponto de equivalência. O ponto onde a segunda derivada cruza o zero (9,3 mL) representa a inflexão da curva apresentada no Gráfico 1 e, portanto, o ponto estequiométrico da titulação pela metodologia empregada (Figura 4).

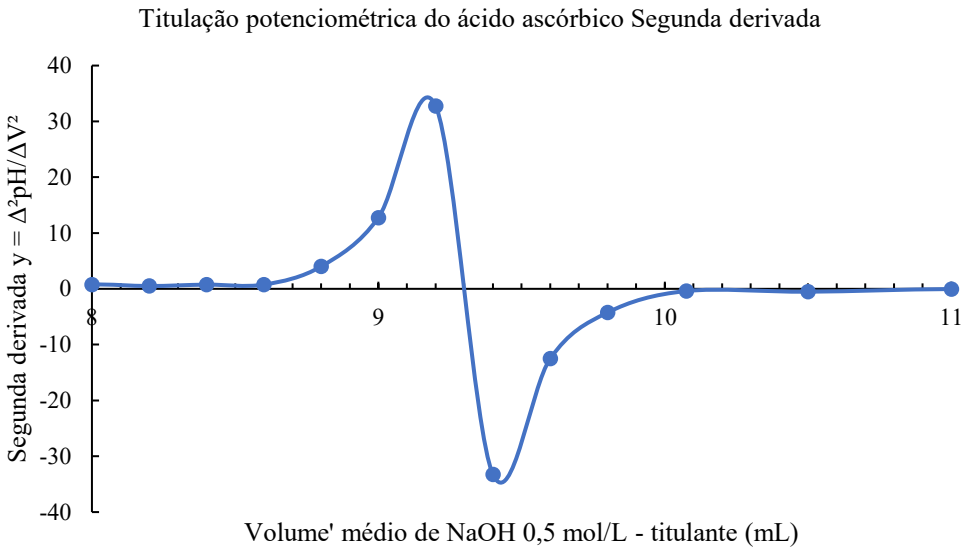


Figura 4. Segunda derivada ($\Delta^2pH/\Delta V^2$) em função do volume médio de titulante.
Fonte: Autoria própria.

Comparação entre os métodos experimentais e o volume teórico

Durante as titulações realizadas, constatou-se uma leve discrepância entre o volume teórico de NaOH (9,0 mL) necessário para neutralizar o ácido ascórbico presente na solução e o volume efetivamente medido (valor médio de 9,23 mL para a titulação visual e de 9,3 a 9,4 mL para titulação potenciométrica). Com base nos cálculos estequiométricos, considerando uma concentração final de 0,09 mol.L^{-1} de ácido ascórbico em 50 mL de solução, estimou-se que o volume ideal de NaOH 0,5 mol.L^{-1} seria de aproximadamente 9,0 mL. No entanto, os valores experimentais superaram ligeiramente essa estimativa.

Essa diferença pode ser atribuída à presença de compostos ácidos no extrato de cupuaçu (DE ARAÚJO BEZERRA, 2024), utilizado como indicador. O extrato, obtido do resíduo sólido da extração de óleo assistida por ultrassom com etanol, apresentou pH inicial em torno de 5,78, evidenciando sua natureza levemente ácida. É plausível que ácidos orgânicos residuais, fenóis ou flavonoides ainda presentes no extrato também tenham reagido com o NaOH durante a titulação, consumindo parte do titulante e, consequentemente, elevando o volume total necessário para alcançar o ponto de equivalência.

Esse comportamento evidencia que o extrato não atua apenas como um indicador visual passivo, mas também participa da reação ácido-base, fato que deve ser considerado na padronização do método analítico. Apesar dessas considerações, a mudança de cor observada nas titulações visuais, principalmente de incolor para um amarelo-mel intenso no ponto de equivalência, foi evidente e muito próximo do ponto de equivalência teórico reforçando o potencial desse resíduo como um indicador natural de pH podendo inclusive tornar-se matéria prima para a elaboração de papeis indicadores de pH, indo de encontro com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS que prevê a valorização dos resíduos e a reinserção destes na cadeia produtiva (BRASIL, 2010).

Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que o extrato aquoso do resíduo da extração do óleo de cupuaçu apresenta potencial como indicador natural de pH em titulações ácido-base. A mudança de coloração observada durante a titulação próximo ao ponto de equivalência (PE) de transparente, para um amarelo mel no ponto de viragem ocorre de forma nítida, portanto a utilização do extrato como indicador de pH apresenta-se como uma técnica reprodutível e compatível com o ponto de equivalência teórico. Embora pequenas variações no volume de base NaOH tenham sido registradas em relação ao valor teórico devido à natureza levemente ácida do extrato, a técnica mostrou-se uma alternativa viável, sustentável e promissora, agregando valor a este resíduo agroindustrial.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelas bolsas de doutorado e mestrado, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR e à Universidade Estadual de Maringá - UEM pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 03 de ago. de 2010.

CARDOSO, Natali F. et al. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011.

DA SILVA, Carlos VA et al. Cupuaçu (Theobroma grandiflorum): A multifunctional Amazonian fruit with extensive benefits. **Food Research International**, p. 114729, 2024.

DE ARAÚJO BEZERRA, Jaqueline et al. "Cupuaçu"(Theobroma grandiflorum): A brief review on chemical and technological potential of this Amazonian fruit. **Food Chemistry Advances**, v. 5, p. 100747, 2024.

DE AZEVEDO, Alvaro B A.; KOPCAK, Uiram; MOHAMED, Rahoma S. Extraction of fat from fermented Cupuaçu seeds with supercritical solvents. **The Journal of supercritical fluids**, v. 27, n. 2, p. 223-237, 2003.

DE OLIVEIRA, Thiago Belchior; GENOVESE, Maria Inés. Chemical composition of cupuassu (Theobroma grandiflorum) and cocoa (Theobroma cacao) liquors and their effects on streptozotocin-induced diabetic rats. **Food research international**, v. 51, n. 2, p. 929-935, 2013.

EMBRAPA. **Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos.** Portal Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos. Acesso em: 29 de abr. de 2025.

HARRIS, Daniel C. **Análise química quantitativa**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MENDONÇA, Iasmin Maquiné et al. Application of calcined waste cupuaçu (Theobroma grandiflorum) seeds as a low-cost solid catalyst in soybean oil ethanolysis: Statistical optimization. **Energy Conversion and Management**, v. 200, p. 112095, 2019.

NABI, Brera Ghulam et al. Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102403, 2023.

NUNES, Chalder Nogueira; JANSEN, Aline Bortolanza; QUINÁIA, Sueli Pércio. Otimização da extração de antocianinas presentes no feijão-preto e impregnação do extrato em matriz polimérica natural para uso como indicador de pH. **Química Nova**, v. 45, n. 01, p. 113-120, 2022.

OSAWA, Cibele Cristina; GONÇALVES, Lireny Ap Guaraldo; RAGAZZI, Sidnei. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, v. 29, p. 593-599, 2006.

SAMUEL, Sinélcio et al. Novel eco-friendly acid-base indicators from innovative plant-based sources: Water-based extraction and applications in titration. **Next Research**, v. 2, n. 1, p. 100129, 2025.

SONG, Xueying et al. Gelatin/agar pH-indicator film based on cranberry extract loaded with linalool nanoparticle: Survey on physical, antimicrobial, and antioxidant properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 268, p. 131767, 2024.

TERCI, Daniela Brotto Lopes; ROSSI, Adriana Vitorino. Indicadores naturais de pH: Usar papel ou solução?. **Química Nova**, v. 25, p. 684-688, 2002.

ESTANDARIZACIÓN POR DISTINTOS METODOS PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO APARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA (ESCAMAS DE PESCADO)

1Andrea Del Pilar Diaz Guerrero, 2Jorge Carrillo Velásquez
1Universidade Militar Nueva Granda, e-mail: est.andrea.dia2@unimilitar.edu.co; 2Universidade Militar Nueva Granda, e-mail: jorge.carrillo@unimilitar.edu.co

Palabras clave: Quitosano; Extracción; Escamas de pescado.

Resumen

Con el fin de estandarizar un método que combine alto rendimiento, elevada pureza y bajo consumo de reactivos, se evaluaron seis metodologías para la extracción de quitosano a partir de escamas de pescado, un subproducto de la industria pesquera cuya generación anual asciende a aproximadamente 9,25 millones de toneladas y que, a nivel global, apenas se aprovecha en un 10 %. Se analizaron dos presentaciones de la materia prima; tamiz (75-150 micras) obtenido por molienda mecánica frente a escama completa tostada; se variaron las concentraciones de HCl (0,4–0,5 M) y NaOH (0,79–1 % p/v) a 50 °C, implementando en todos los casos las etapas clásicas de desmineralización, desproteinización y desacetilación en medio alcalino. Los rendimientos obtenidos de material de bajo tamiz tras molienda resultaron ser muy bajos (6–9 % de la masa inicial), lo que resalta las limitaciones de la pulverización de un material de matriz estructural diferente altamente elástico y resistente. La extracción de quitosano alcanzó entre 7 % y 79 %, siendo consistentemente superiores las metodologías basadas en escamas completas, la pureza del biopolímero obtenido, medida mediante la formación de gel en ácido acético al 4 %, osciló entre 76 % y 89 %, con los valores más elevados obtenidos para la secuencia HCl 0,4 M seguida de NaOH 1 % (p/v) sobre escama completa tostada. Con base en los datos obtenidos, se propone como protocolo estandarizado el tratamiento de escamas completas tostadas con HCl 0,4 M y NaOH 1% (p/v), lo que permitirá valorizar un residuo pesquero el cual está ampliamente disponible, reducir la dependencia de residuos de crustáceos y avanzar hacia un modelo de economía circular en la industria de biomateriales.

Introducción

El quitosano tradicionalmente se extrae del exoesqueleto de crustáceos y presenta múltiples aplicaciones en áreas como el tratamiento de aguas, biomedicina, agricultura, industria alimentaria, cosmética y como agente anticorrosivo (Rinaudo, 2006), sin embargo, dado que la mayoría de los métodos de extracción están optimizados para crustáceos, su aplicación directa a otros residuos biológicos como las escamas de pescado no resulta del todo eficaz; esta diferencia, se debe a que las escamas poseen una matriz estructural distinta, con menor contenido de quitina y diferente composición mineral y proteica, lo que exige ajustes en las condiciones de extracción, por esta razón, se propone estandarizar una metodología específica para obtener quitosano a partir de escamas de pescado, un residuo que a nivel mundial, solo se aprovecha en un 10% (Coppola et al., 2021).

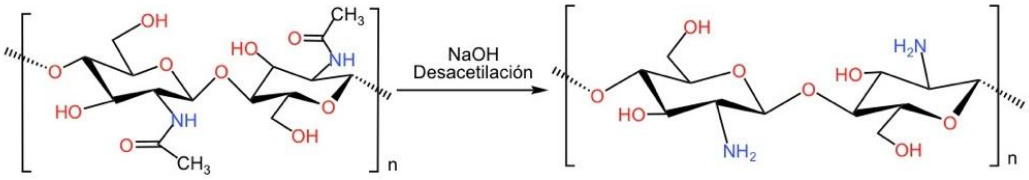


Figura 1 – Diagrama de la estructura de la quitina y quitosano

Su valorización mediante la obtención de quitosano contribuiría significativamente a la sostenibilidad de la industria pesquera, fomentando la economía circular, diversificando las fuentes de quitina y reduciendo la presión sobre los ecosistemas marinos dominados por crustáceos (FAO, 2023); Este valor agregado que se le otorga a las escamas de pescado le puede brindar un nuevo ingreso a comunidades pesqueras, en vez de volverse un residuo con alta carga orgánica que al no ser tratado provoca una alta toxicidad y contaminación que a su vez puede causar eutrofización, contaminación de suelos, producción de metano y ácido sulfúrico por su descomposición en rellenos sanitarios o botaderos (Iñiguez-Moreno et al., 2024).

Esto limita el rendimiento del material pulverizado frente al obtenido por molienda (Cruz Jiménez, 2021). Por tanto, se realizaron ensayos comparativos utilizando escamas en tamiz fino y escamas tostadas completas, con el fin de identificar las modificaciones necesarias en el protocolo de extracción (Fuentes Carrillo, 2021).

El uso de quitosano en las distintas industrias se utiliza por sus características biodegradables y no toxicas al ser un biopolímero por lo cual la investigación acerca de la estructura y la funcionalidad que se le da al extraer este compuesto de las escamas de pescado permite el desarrollo de materiales, usos, características del material entre otros; lo cual permite un desarrollo científico y tecnológico al obtener información primaria con respecto a los usos y características de este material (Kozlowska; Ciesielska, 2025).

Dado que la extracción a partir de escamas de pescado aún presenta retos técnicos, este estudio se centra en comparar diferentes metodologías reportadas en la literatura y proponer un protocolo optimizado que permita maximizar el rendimiento y la pureza del quitosano, minimizando el uso de reactivos y tiempos de proceso.

Objetivo

Estandarizar un protocolo eficiente y viable para la extracción de quitosano a partir de escamas de pescado, optimizando los parámetros de rendimiento, pureza y consumo de reactivos.

Metodología

A continuación, se presentan los diagramas de flujo de las metodologías realizadas.

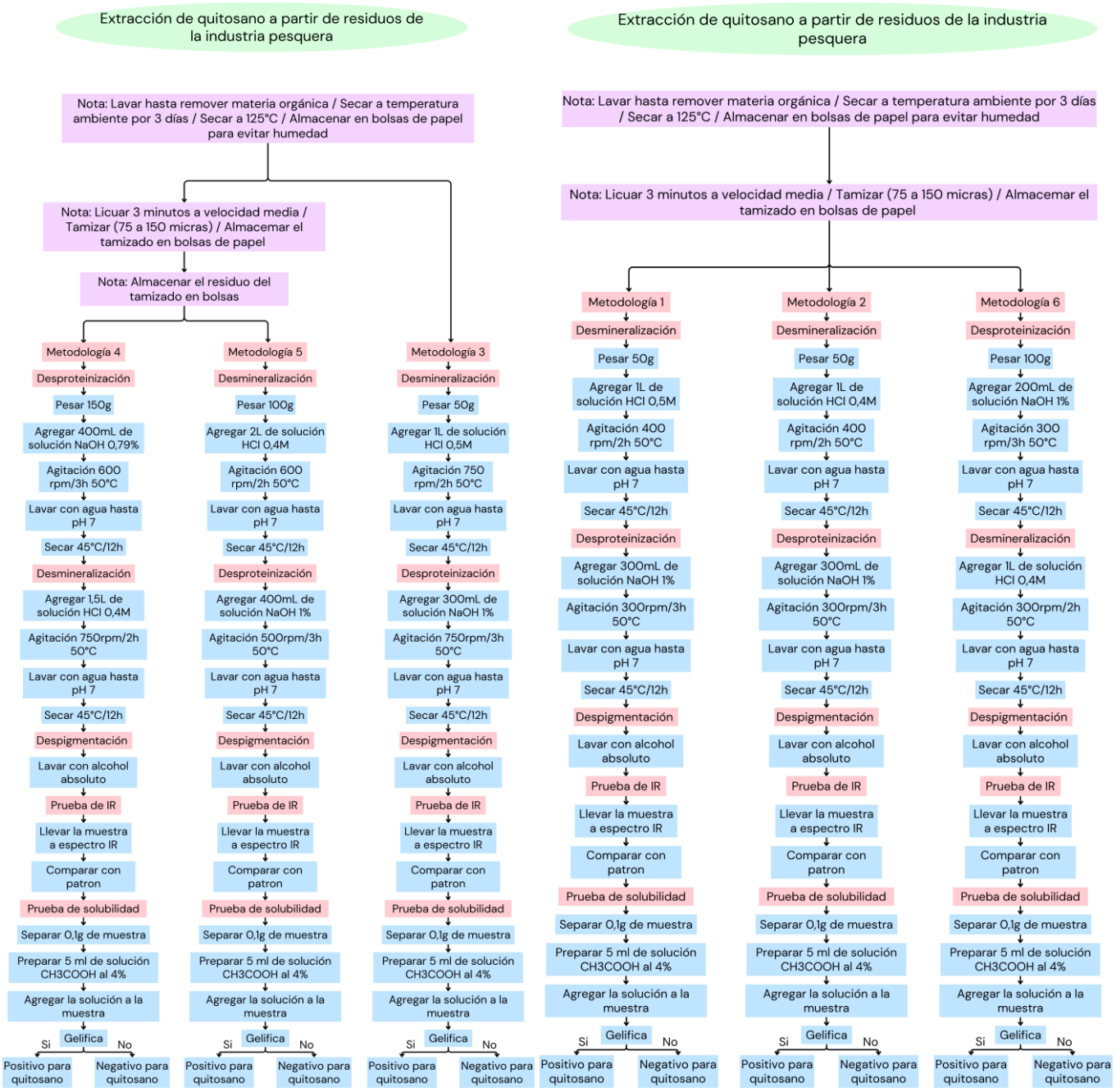


Figura 2 - Diagrama de flujo de las metodologías realizadas
Fuente: Autoría propia (2025).

Resultados

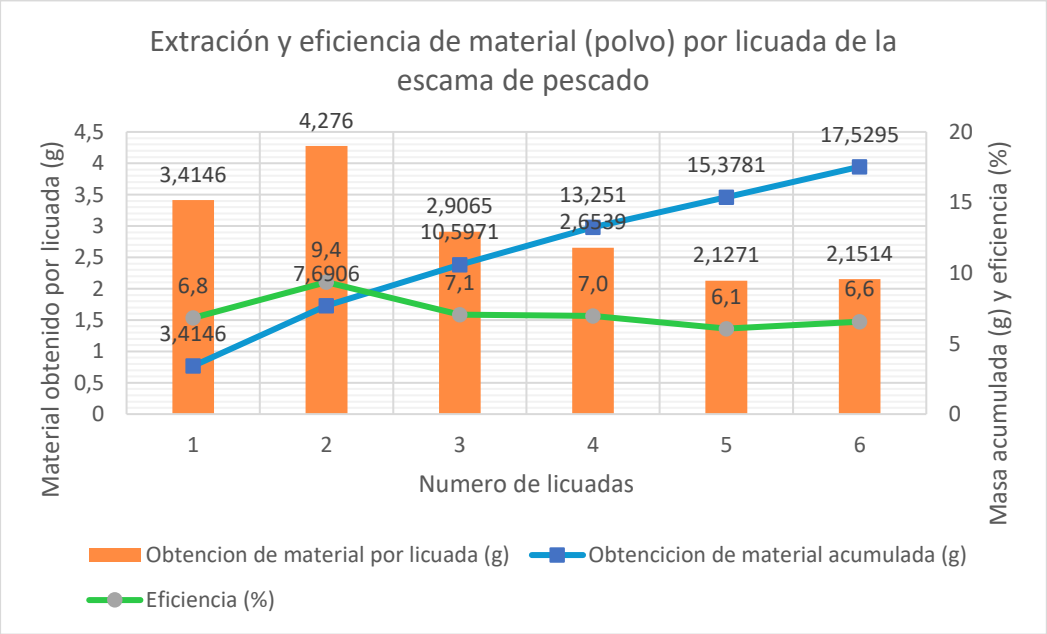
La Tabla 1 presenta la eficiencia de la molienda de la escama tostada para la obtención del material con características de tamiz talco.

Tabla 1 – Obtención de material por licuada de una muestra inicial de 50g

Numero de licuadas	Peso de la muestra inicial (g)	Eficiencia	Obtención de material acumulada (g)	Obtención de material por licuada (g)
1	50,0016	6,83%	3,4146	3,4146
2	45,7177	9,35%	7,6906	4,276
3	41,2135	7,05%	10,5971	2,9065
4	38,1214	6,96%	13,251	2,6539
5	35,0994	6,06%	15,3781	2,1271
6	30,4429	6,56%	17,5295	2,1514

Fuente: Autoría propia (2025).

Grafica 1 – Obtención de material por licuada de una muestra inicial de 50g



Fuente: Autoría propia (2025).

La Grafica 1 presenta la eficiencia de la molienda por ensayo, el material obtenido por molienda y el acumulado.

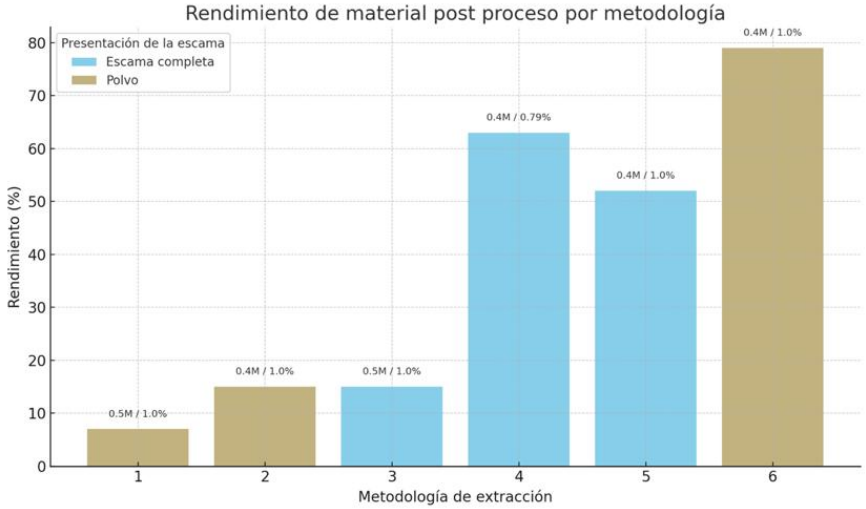
Por otra parte, los resultados obtenidos a partir de las distintas metodologías aplicadas en la preparación de las escamas para la extracción de quitosano muestran que en todos los casos se logró obtener quitosano tal y como se presenta en la Tabla 2, aunque se evidenciaron diferencias en el porcentaje de rendimiento de extracción entre las muestras.

Tabla 2 – Resultados del procesamiento de quitosano por medio de los distintos procedimientos

Metodología de extracción	Presentación de la escama	Concentración		Solución en cada etapa		Rendimiento de material post proceso	Positivo para quitosano
		Ácido (M)	Base %	Primera etapa	Segunda etapa		
1	Polvo	0,5	1%	Ácido	Base	7%	Si
2	Polvo	0,4	1%	Ácido	Base	15%	Si
3	Escama completa	0,5	1%	Ácido	Base	15%	Si
4	Escama completa	0,4	0,79%	Base	Ácido	63%	Si
5	Escama completa	0,4	1%	Ácido	Base	52%	Si
6	Polvo	0,4	1%	Base	Ácido	79%	Si

Fuente: Autoría propia (2025).

Grafica 2 – Rendimiento de extracción en distintas presentaciones y metodologías



Fuente: Autoría propia (2025).

La Grafica 2 presenta el rendimiento de cada metodología con las concentraciones asociadas al acido y la base utilizada.

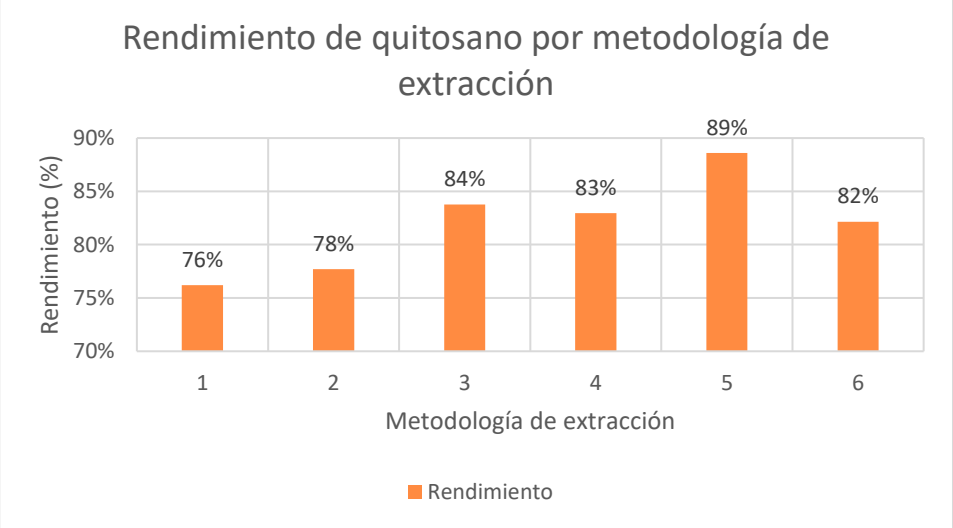
Tabla 3 – Rendimiento de quitosano de la prueba de solubilidad en ácido acético al 4%

Metodología de extracción	Ácido acético al 4% (ml)	Peso de la muestra (g)	Peso caja Petri (g)	Peso después del acético (g)	Peso de quitosano (g)	Rendimiento
1	5	0,1	41,6078	41,6840	0,0762	76%
2	5	0,1	45,7311	45,8088	0,0777	78%
3	5	0,1	43,4759	43,55966	0,08376	84%
4	5	0,1	43,4529	43,53586	0,08296	83%
5	5	0,1	41,8173	41,9059	0,0886	89%
6	5	0,1	49,8781	49,96026	0,08216	82%

Fuente: Autoría propia (2025).

Con la prueba de rendimiento obtenido de cada metodología se obtuvieron valores que oscilan entre el 76% - 89% Tabla 3. La Grafica 3 presenta el rendimiento por metodología.

Grafica 3 – Rendimiento de extracción en distintas presentaciones y metodologías



Fuente: Autoría propia (2025).

De acuerdo a estos resultados se obtiene las imágenes de la estructura de la muestra patrón de quitosano Figura 3. Estructura obtenida para cada una de las muestras Figura 4.

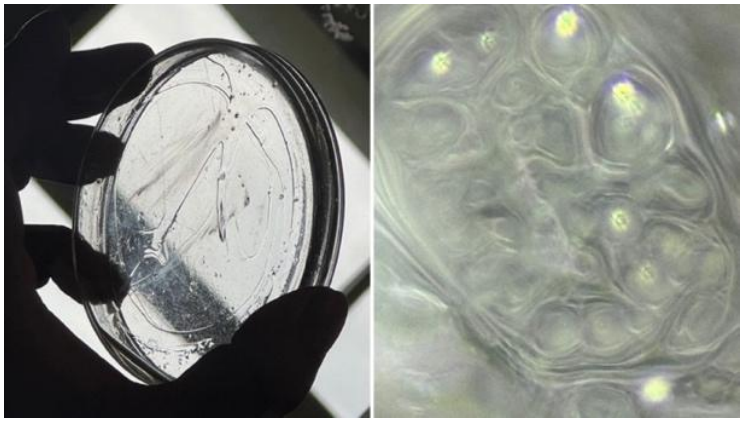


Figura 3 – Estructura gelificada del quitosano industrial
Fuente: Autoría propia (2025).

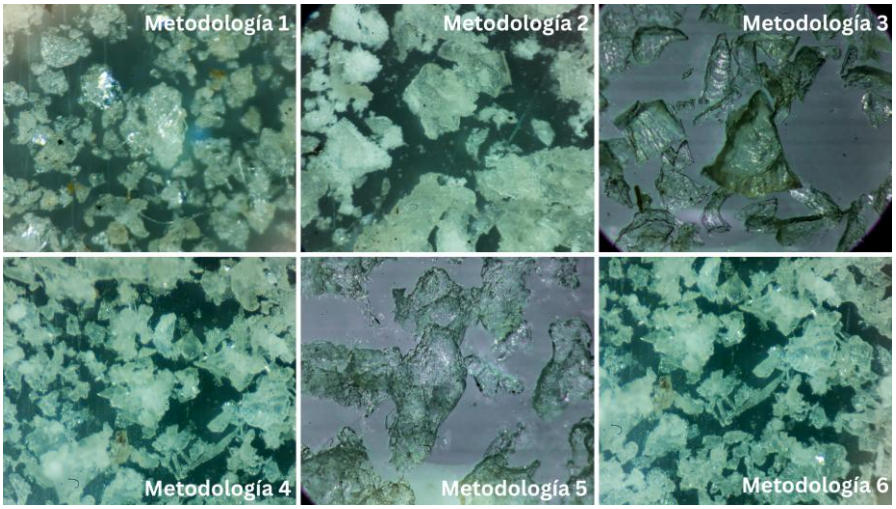


Figura 4 – Estructura gelificada del quitosano por cada metodología de extracción
Fuente: Autoría propia (2025).

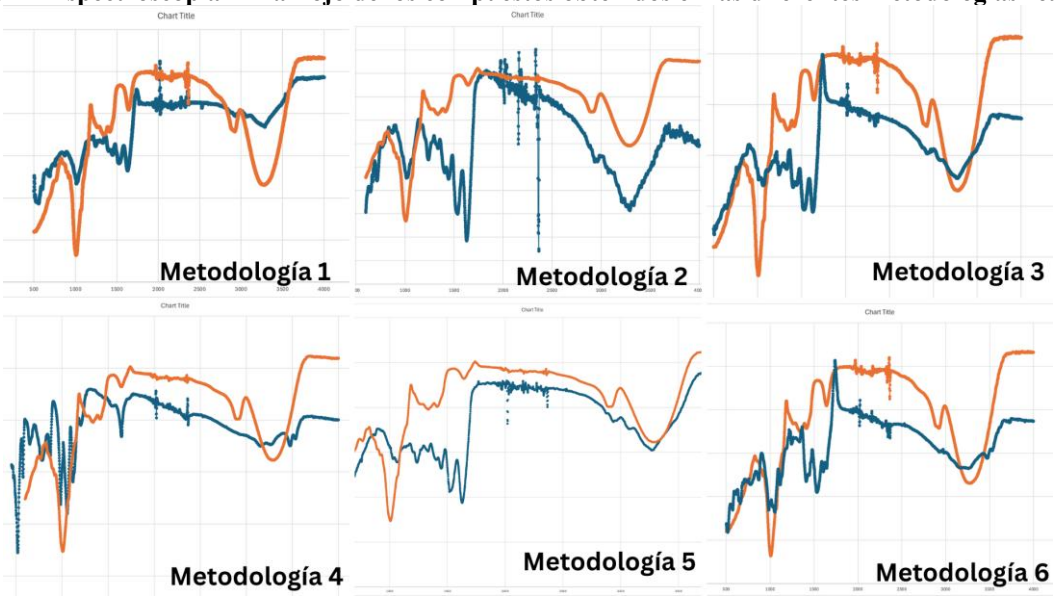
La Tabla 4 permite ver un resumen de los resultados de rendimiento y pureza en las distintas pruebas de calidad de producto y el rendimiento final para la masa inicial procesada para cada metodología.

Tabla 4 – Resumen de los datos obtenidos en las distintas etapas

Metodología de extracción	Presentación de la escama	Rendimiento de material post proceso	Rendimiento de pureza	Masa recuperada por metodología (teórica)	Masa inicial	Rendimiento final
1	Polvo	7%	76%	5,751576	50	12%
2	Polvo	15%	78%	2,73049455	50	5%
3	Escama completa	15%	84%	6,38979912	50	13%
4	Escama completa	63%	83%	78,14516752	150	52%
5	Escama completa	52%	89%	46,0605706	100	46%
6	Polvo	79%	82%	64,86827776	150	43%

Fuente: Autoría propia (2025).

Grafica 4 – Espectroscopia Infrarrojo de los compuestos obtenidos en las diferentes metodologías realizadas



Fuente: Autoría propia (2025). El patrón quitosano naranja

Se presentan los resultados de los espectros infrarrojos obtenidos de las 6 metodologías con respecto a la muestra patrón (naranja) donde se resaltan los picos principales de la estructura del quitosano, Grafica 4.

El análisis espectroscópico de los diferentes espectros obtenidos de las muestras por las diferentes metodologías, en relación con una muestra patrón de quitosano industrial; en todos los casos, las muestras presentaron los picos característicos correspondientes a los grupos funcionales típicos del quitosano, tales como C–O, C–N, NH_2, C=O y O–H (picos en: 1080-1154, 1500-1600 y 2800-2950), lo que confirma la presencia de la estructura química esperada del polímero (Figura 1). Cabe resaltar que la resolución y definición de los picos varió entre las muestras (Grafica 4), lo cual se atribuye a diferencias en la pureza del material y al contenido de humedad residual. Esto último se debe a que no se aplicó un proceso de secado con bala de acetona, lo cual puede afectar la nitidez de las señales espectrales (Chirinos; Lárez Velásquez, 2013). No obstante, a pesar de estas variaciones, todos los espectros obtenidos corroboran la adecuada obtención del quitosano a partir de las distintas metodologías evaluadas.

Conclusiones

En la Grafica 1, se observa que el tratamiento de las escamas de pescado para obtener un material pulverizado no resulta ser un proceso eficiente, tanto en términos de presentación como en el rendimiento de producción de quitosano, en comparación con el aprovechamiento directo de los residuos generados durante este proceso; esto posiblemente se debe a que la escama de pescado al mantener su estructura más íntegra, se vuelve más reactiva, lo que facilita una mejor interacción con los reactivos, especialmente en comparación con las presentaciones de escama completa tostada o pulverizada lo cual se presenta en la Grafica 2.

La Figura 4 muestra que todos los compuestos obtenidos de las diferentes metodologías aplicadas dieron positivó para la prueba de ácido acético al 4% logrando gelificación. Sin embargo, en las metodologías 1, 2 y 4, el gel presenta una apariencia compacta y aglomerada, mientras que en las metodologías 3, 5 y 6, el quitosano gelificado se observa de forma individual y dispersa, lo que facilita una mejor visualización de su estructura. Adicionalmente, se puede comprobar que la estructura gelificada la estructura si es quitosano al comparar los resultados con la morfología de las estructuras cristalinas reportadas en literatura (Kumari et al., 2017). Al igual que compararlo con la estructura de quitosano proveniente de manera específica de la escama de pescado (Tri Putri et al., 2020).

Se observa que la metodología 5 presento un rendimiento del 52% de extracción, pero de la misma manera en la gráfica 3 se puede observar que tiene un rendimiento del 89% de pureza para quitosano.

En la metodología 4 es donde se obtiene mayor rendimiento de producción de quitosano con un 63% y una pureza de 83% de procedimiento; utilizando una mayor escala donde la prioridad no sea la pureza se obtiene un rendimiento final del 52%,

La metodología 5 establece una mayor pureza por muestra donde se obtuvo un 89% con un rendimiento de producción del 52% y un rendimiento final de 46%, esta metodología permite que se obtenga mayor pureza con menor producción por lo cual se puede implementar en los casos donde la pureza sea más importante que el nivel de producción.

Referências Bibliográficas

Chirinos, A.; Lárez Velásquez, C. *Efecto del quitosano sobre la germinación y preservación de la semilla de calabacín (Curcubita pepo)*. 2013. Disponível em: 10.13140/2.1.3448.2565 Acesso em: 28 maio 2025.

Corpola, D; Lauritano, C; Palma Esposito, F; Riccio, G; Rizzo, C; De Pascale, D. *Fish waste: From problem to valuable resource*. *Marine Drugs*, v. 19, n. 2, p. 116, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/md19020116. Acesso em: 1 maio 2025.

Cruz Jimenez, K.I. *Obtención de quitosano por medio de escamas de pescado para tratamiento de agua potable*. 2021. Trabajo de grado. [Lugar de publicación no indicado].

FAO.. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Roma: FAO, 2024.

Fuentes Carrillo, A. C. *Propuesta para el aprovechamiento de escamas de pescado aplicado a la producción de papel de quitosano por el método de desacetilación de quitina en medio alcalino*. 2021. Trabajo de grado. [Lugar de publicación no indicado].

Iñiguez-Moreno, M.; Santiesteban-Romero, B.; Melchor-Martínez, E. M.; Parra-Saldívar, R.; González-González, R. B. *Valorization of fishery industry waste: Chitosan extraction and its application in the industry*. MethodsX, v. 13, p. 102892, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102892. Acesso em: 27 maio 2025.

Kozlowska, J.; Ciesielska, A. *Preparation and preliminary studies of porous fish collagen and chitosan materials enriched with microcapsules containing an active ingredient*. Scientific Reports, v. 15, n. 1, p. 11511, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-025-95809-x. Acesso em: 27 maio 2025.

Kumari, S.; Kumar Annamareddy, S. H.; Abanti, S.; Kumar Rath, P. *Physicochemical properties and characterization of chitosan synthesized from fish scales, crab and shrimp shells*. International Journal of Biological Macromolecules, v. 104, pt. B, p. 1697–1705, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.119. Acesso em: 19 maio 2025.

Rinaudo, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001. Acesso em: 1 maio 2025.

Tri Putri, D. K.; W. H, W. D.; Oktiani, B. W.; K, Candra; Sukmana, B. I.; Rachmadi, P.; Achmad, H. *Synthesis and Characteristics of Chitosan from Haruan (Channa striata) Fish Scales*. Systematic Reviews in Pharmacy, v. 11, n. 4, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.31838/srp.2020.4.04. Acesso em: 19 maio 2025.

ESTUDO COMPARATIVO DAS EMISSÕES E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS EM UNIDADES DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Flávia Renata Prestes Carvalho, Tales Oliveira Figueiró, Carlos Alberto Mendes Moraes
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: flaviarenatapc@gmail.com, talesfigueiro@gmail.com, cmoraes@unisinos.br

Palavras-chave: Metano; Aterro Sanitário; Biodigestor

Resumo

Um dos principais gases de efeito estufa (GEE) é o metano (CH_4), cujo potencial de aquecimento global é significativamente superior ao do dióxido de carbono (CO_2) e do óxido nitroso (N_2O). Embora o dióxido de carbono permaneça na atmosfera por cerca de mil anos, o metano apresenta um potencial de aquecimento aproximadamente 80 vezes maior, com tempo de permanência na atmosfera na ordem de uma década. As principais fontes de emissão de metano incluem atividades agrícolas, pecuária intensiva, tratamento de esgoto e aterros sanitários, sendo que estes últimos apresentam desafios importantes devido à baixa eficiência na captura do gás produzido. Assim, diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas, torna-se urgente a redução dessas emissões, especialmente em relação ao metano, dada sua elevada capacidade poluidora e impacto em curto prazo.

Neste contexto, o presente trabalho realiza um estudo comparativo entre três unidades de tratamento de resíduos: os aterros sanitários de Caieiras (SP) e São Leopoldo (RS), no Brasil, e uma usina de biodigestão localizada em Könnern, na Alemanha. Por meio da análise de dados bibliográficos, foram avaliadas a eficiência dos sistemas de captação de biogás, a composição dos resíduos e a produtividade de biometano por tonelada de material tratado.

Os resultados apontam diferenças significativas entre os modelos adotados, com destaque para o elevado rendimento da biodigestão alemã e os desafios enfrentados pelos aterros brasileiros quanto à contenção das emissões. Os dados mostram que a usina de Könnern apresenta eficiência superior na produção de biogás, gerando 125,23 m³ por tonelada de resíduo, em comparação ao Aterro Caieiras (82 m³/ton) e ao Aterro São Leopoldo (34 m³/ton), mesmo recebendo um volume significativamente menor de resíduos. Já os aterros brasileiros, em média, captam entre 50% e 60% do biogás gerado, resultando em maiores emissões de metano para a atmosfera.

Essa análise reforça a importância da adoção de tecnologias complementares, como a biodigestão anaeróbia, para promover a valorização energética dos resíduos e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

Introdução

A implementação de projetos voltados ao aproveitamento energético do metano é estratégica não apenas para mitigar suas emissões, mas também para explorar seu elevado potencial na produção de energia sustentável. Esse aproveitamento tem ganhado destaque internacional, especialmente na Europa, onde o biometano desponta como uma solução eficiente na transição energética. Um de seus principais diferenciais é a compatibilidade com a infraestrutura de gás natural já existente, o que reduz significativamente a necessidade de novos investimentos por parte dos usuários (SAMPAIO, 2020).

No cenário global, o Protocolo de Quioto representou um marco nas iniciativas voltadas à mitigação das mudanças climáticas, ao estabelecer compromissos legais de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs). No Brasil, a principal forma de adesão a esse tratado se deu por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permite a participação voluntária de países em desenvolvimento. Os projetos de MDL visam gerar reduções adicionais de emissões, convertidas em Reduções Certificadas de Emissão (RCEs), que podem ser comercializadas com países desenvolvidos (MCTI, 2016).

Além dos benefícios ambientais, o MDL oferece vantagens significativas para empreendedores, como a valorização da imagem institucional, acesso a tecnologias e investimentos estrangeiros, inserção em novos mercados, desenvolvimento de modelos financeiros inovadores e viabilização de empreendimentos antes considerados inviáveis (VANZIN, 2005).

Os aterros sanitários representam uma das principais fontes de emissão de metano no setor de resíduos, devido à decomposição anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A ausência de sistemas adequados de captação e queima do biogás intensifica o impacto ambiental, já que o metano é liberado diretamente na atmosfera. Diante disso, torna-se essencial adotar tecnologias que não apenas reduzam essas emissões, mas também possibilitem o aproveitamento energético do biogás como fonte de energia renovável, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (IPEA, 2012).

Na Europa, a biodigestão anaeróbia é uma tecnologia consolidada para o tratamento de resíduos orgânicos, incluindo resíduos urbanos, agrícolas e industriais. O biogás gerado é frequentemente purificado em biometano, que pode ser injetado na rede de gás natural ou usado como combustível renovável para veículos. Essa prática contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promove a economia circular ao gerar fertilizantes a partir do digestato residual (EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION, 2020; GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2020).

Com base em pesquisas, o estudo propõe uma abordagem integrada que combine tecnologias de biodigestores e sistemas de captação, visando otimizar o aproveitamento energético do biogás e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Esta pesquisa oferece uma contribuição importante para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de gestão e tratamento de resíduos, alinhadas com os objetivos globais de mitigação das mudanças climáticas.

Objetivos específicos

Analisar e comparar dados sobre o aproveitamento energético do biogás em três unidades de tratamento de resíduos, com o objetivo de identificar oportunidades de mitigação de emissões e boas práticas que potencializem a produção e o uso de biometano.

Materiais e métodos

Este estudo foi realizado por meio de revisão bibliográfica, com foco na comparação da eficiência do aproveitamento energético do biogás em três unidades de tratamento de resíduos: o Aterro Sanitário de São Leopoldo (RS), o Aterro Sanitário de Caieiras (SP) e a usina de biodigestão de Könnern, na Alemanha.

Para quantificar a produção de biometano, foram coletados dados secundários disponíveis em relatórios técnicos, artigos científicos e bases oficiais, abrangendo o volume de resíduos tratados, a composição da matéria orgânica e o volume de biogás captado em cada unidade. A partir desses dados, calculou-se a produtividade de biogás por tonelada de resíduo para cada unidade, permitindo a comparação entre os sistemas.

Adicionalmente, foi realizada uma análise qualitativa das tecnologias de captação e tratamento do biogás adotadas em cada local, com o objetivo de identificar práticas operacionais que favorecem a redução das emissões de metano e promovem o aproveitamento eficiente do biogás. Com base nos resultados obtidos, foram apontadas possíveis oportunidades de mitigação e estratégias para aprimorar a gestão de resíduos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Fundamentação Teórica

Formado principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), o biogás tem se consolidado como uma alternativa promissora para a geração de energia sustentável. Sua produção ocorre predominantemente em aterros sanitários, por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos. Conforme apontado por Milanez et al. (2018, p. 253), os aterros são responsáveis por aproximadamente 51% da geração de biogás no país.

Com o objetivo de evitar o desperdício e a liberação inadequada desse recurso energético, diversas iniciativas têm sido implementadas visando seu aproveitamento energético. Segundo Fogaça (2021), em aterros equipados com sistemas de captação e tratamento, é possível evitar a liberação direta desses gases na atmosfera, contribuindo significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

No Brasil, existem aproximadamente 640 aterros sanitários, dos quais apenas 48 (cerca de 7,5%) estão equipados com sistemas para o aproveitamento energético do biogás (BRASIL, 2017). Esse número evidencia o potencial ainda inexplorado no país.

Na Europa, o cenário é mais avançado, desde os anos 2000, políticas públicas da União Europeia têm incentivado o uso de fontes renováveis e a produção de biocombustíveis. Entre as medidas adotadas, destacam-se o estímulo à coleta seletiva e à recuperação de resíduos, restringindo o uso de aterros apenas aos rejeitos finais. Como resultado, diversas cidades europeias atingiram taxas superiores a 60% de separação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o que impulsionou a construção de unidades de biodigestão anaeróbia. Essas unidades utilizam a fração orgânica dos RSU, possibilitando inclusive a codigestão com resíduos agrícolas, lodo de esgoto e resíduos da indústria alimentícia e pecuária (RABONI; URBINI, 2014).

O biodigestor trata-se de uma câmara hermeticamente fechada, na qual a matéria orgânica diluída é decomposta em ambiente sem oxigênio, promovendo a geração de biogás. Além disso, o processo resulta em um subproduto, o digestato que pode ser valorizado como fertilizante orgânico (RSD Journal, 2022, p. 10).

A geração de biogás em aterros sanitários pode variar conforme a composição e a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos. Segundo Cecchi et al. (2015), estima-se que a decomposição anaeróbia de aproximadamente 1 tonelada de resíduos sólidos urbanos produz entre 100 e 200 m³ de biogás por dia, dependendo das condições do aterro e do tipo de resíduos.

Já a produção de biogás em biodigestores depende diretamente da quantidade e da composição dos resíduos orgânicos tratados, bem como das condições operacionais do sistema, como temperatura, pH e tempo de retenção hidráulica. Conforme relatado por Mata-Alvarez et al. (2014), a decomposição anaeróbia de 1 tonelada de resíduos orgânicos pode gerar entre 150 a 300 m³ de biogás, variando conforme o tipo de substrato e a eficiência do biodigestor.

Além disso, biodigestores bem operados podem atingir taxas de conversão superiores, otimizando a produção de metano, que geralmente representa 55 a 70% do biogás gerado (Angelidaki et al., 2011).

Aterro São Leopoldo

O Aterro Sanitário de São Leopoldo, localizado no Rio Grande do Sul e operado pela CRVR, possui uma área de aproximadamente 12 hectares. O aterro recebe cerca de 1.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, compostos por resíduos Classe I perigosos e Classe II não perigosos e não recebe materiais industriais ou hospitalares não tratados (CRVR, 2025).

A produção diária de biometano é estimada em 34.000m³, resultando em uma geração média de aproximadamente 34m³ de biometano por tonelada de resíduo depositado (CRVR, 2025).

O biogás passa por um processo de digestão anaeróbica, sendo posteriormente convertido em biometano, uma forma renovável de gás natural. Para otimizar a coleta e captação do biogás, o aterro conta com 72 drenos, dos quais 35 estão conectados à linha central (CRVR, 2025).

Em casos de excesso de biogás que não é aproveitado para a produção de energia, o sistema de queima controlada em *flare* é utilizado para eliminar o excesso, evitando a emissão de metano para a atmosfera. Para melhorar a eficiência e mitigar as

emissões fugitivas, a CRVR tem realizado investimentos na modernização do sistema de captação e tratamento de biogás no Aterro de São Leopoldo, alinhando-se às melhores práticas ambientais e às metas regulatórias, com objetivo de aumentar a captura do biogás e reduzir os impactos ambientais associados (CRVR, 2025).

Aterro Caieiras

O Aterro Sanitário de Caieiras, localizado no estado de São Paulo, é um dos maiores do Brasil. Inaugurado em 2002, ocupa uma área de 350 hectares e recebe aproximadamente 7.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, incluindo resíduos perigosos e não tratados, provenientes do município de São Paulo (SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013).

A produção diária de biometano no aterro é estimada em 570.848m³, o que equivale a uma geração média de cerca de 82m³ de biometano por tonelada de resíduo depositado (Tiago et al., 2013).

O sistema de captação de biogás do aterro é composto por 170 drenos verticais que apresentam uma eficiência total de aproximadamente 65%, medida pela relação entre o volume de biogás captado e o potencial total gerado. Isso indica uma taxa de fuga de biogás da ordem de 35%, que representa perdas significativas e emissões fugitivas de metano para a atmosfera. Tais perdas são atribuídas a fatores como a redução da eficiência da camada de solo de cobertura, influenciada por condições climáticas e ambientais adversas, a quantidade inadequada de drenos, falhas na conexão entre os drenos e o sistema central, além da presença de fissuras na cobertura do aterro (Tiago et al., 2013).

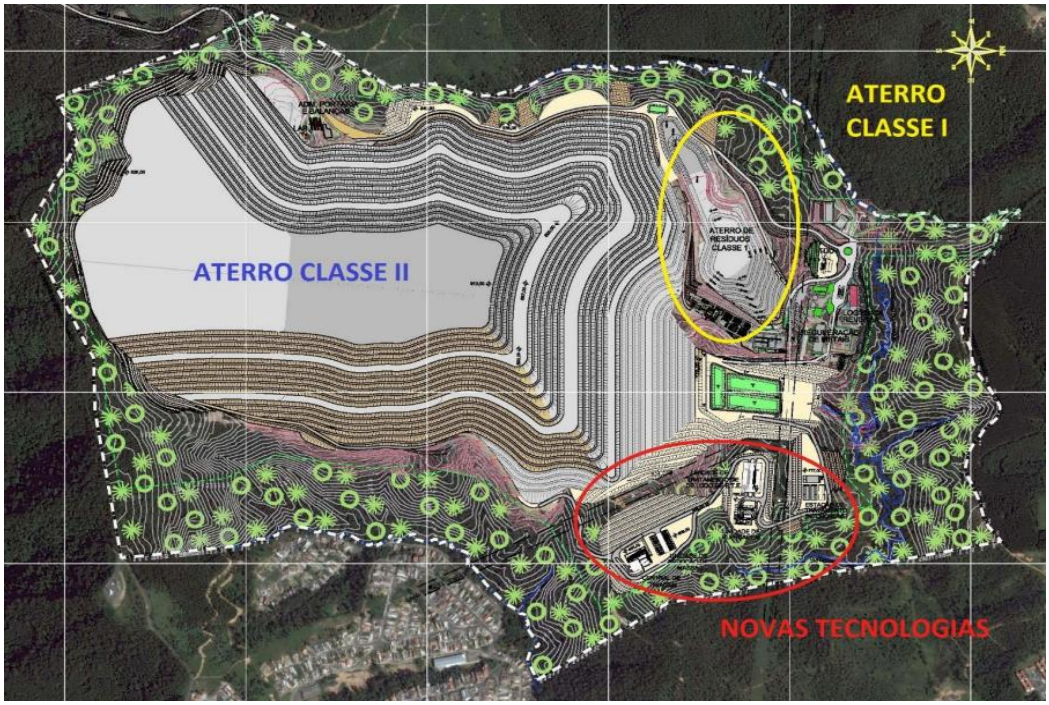


Figura 1: Aterro Caieiras
Fonte: Cepollina, 2016

Usina de Könnern

A Usina de Biogás de Könnern está localizada no estado da Saxônia-Anhalt, no leste da Alemanha, e é reconhecida como uma das maiores usinas do país para produção de energia a partir do biogás. A usina recebe diariamente cerca de 322 toneladas de resíduos agrícolas e de criação animal, incluindo dejetos bovinos, suínos, bagaço de cana-de-açúcar e milho, provenientes de produtores e pecuaristas da região (TELES, 2020).

Os resíduos são processados em 16 biodigestores, cada um com aproximadamente 6 metros de largura e 25 metros de altura, onde os resíduos diluídos em água passam pelo processo de biodigestão anaeróbica, produzindo biogás e biofertilizante (WEILAND, 2010).

A produção diária de biometano é estimada em 40.322m³, o que corresponde a uma geração média de aproximadamente 125 m³ de biometano por tonelada de resíduo processado. O biogás gerado é convertido em energia elétrica por meio de geradores, abastecendo tanto sistemas industriais quanto residências locais, onde também é utilizado para aquecimento (TELES, 2020).



Figura 2: Componentes de Usina de Biodigestão
Fonte: https://tratamentodeagua.com.br/artigo/o-que-e-uma-usina-biogas/

Resultados

Com base nos dados apresentados na tabela 01, foi possível analisar e comparar o desempenho energético das três unidades distintas de tratamento de resíduos sólidos. Observa-se que, nos aterros não é possível captar 100% dos gases gerados. As emissões fugitivas interferem diretamente na eficiência dos sistemas de aproveitamento energético e comprometem os resultados esperados na mitigação dos gases de efeito estufa.

O Aterro de Caieiras, apesar de sua grande capacidade de recebimento de resíduos, apresenta uma eficiência limitada na captação de biogás, resultando em perdas de metano da ordem de 35%. Essa situação evidencia a necessidade de investimentos estruturais e operacionais para reduzir as emissões e aumentar o aproveitamento energético. Por sua vez, o Aterro de São Leopoldo, embora opere em menor escala e não tenha dados disponíveis na literatura sobre emissões fugitivas, demonstra indicadores promissores no que se refere à valorização energética. Ainda assim, enfrenta desafios técnicos semelhantes, especialmente relacionados à captação total do biogás.

Em contraste, a usina de Könnern opera com resíduos agrícolas e animais, alcançando elevados níveis de eficiência e produzindo cerca de 125 m³ de biometano por tonelada de resíduo processado, graças a um sistema fechado de digestão anaeróbica e ao controle rigoroso do processo com as políticas públicas de incentivo à energia renovável.

Tabela 1 – Comparativo entre os aterros Caieras, São Leopoldo e Usina de Konnern

Aterro/Usina	Aterro Caieras – SP/Brasil	Aterro São Leopoldo – RS/Brasil	Usina de Konnern – Saxônia/Alemanha
Tipo de Resíduos	Resíduos Classe I Perigosos e Classe II – Não perigosos, recebe materiais industriais ou hospitalares não tratados.	Resíduos Classe I Perigosos e Classe II – Não perigosos, mas NÃO recebe materiais industriais ou hospitalares não tratados.	Rejeitos do setor agrícola e criação de animais (rejeitos bovinos, suínos, bagaço de cana de açúcar e milho).
Área do Aterro	350 hectares	12 hectares	16 grandes biodigestores, com 6m de largura e 25m de diâmetro cada
Capacidade	7000 mil toneladas/dia de resíduos	1000 mil toneladas/dia de resíduos	322 toneladas/dia de rejeitos
Produção Biometano	570.848 m³/dia	34.000 m³/dia	40.322 m³/dia
Resultado	Para cada tonelada de rejeito, 82m³ de biogás	Para cada tonelada de rejeito, 34m³ de biogás	Para cada tonelada de rejeito, 125m³ de biogás.

Fonte: Elaborado pelos autores

Conclusões

A biodigestão anaeróbica, conforme observado na usina de Könnern, mostra-se uma prática eficaz e replicável, contribuindo significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, ao reduzir perdas fugitivas e direcionar o metano para a geração de energia. Além da produção de biometano em larga escala, o processo gera subprodutos valiosos, como o biofertilizante, que pode ser reaproveitado na agricultura, dependendo do tipo de resíduo utilizado como matéria-prima. Essa abordagem evidencia o potencial de uma gestão integrada de resíduos, alinhada aos princípios da economia circular, representando uma oportunidade concreta para ampliar o uso do biogás no Brasil de forma eficiente e sustentável.

Por outro lado, a significativa fuga de metano observada no Aterro de Caieiras destaca a necessidade de monitoramento contínuo e de manutenção adequada da estrutura, uma vez que essas perdas comprometem o aproveitamento energético e contribuem para o agravamento do efeito estufa. A otimização dos sistemas de captação, aliada à conservação da cobertura dos aterros, é essencial para aumentar a eficiência na recuperação do metano e promover a sustentabilidade ambiental dessas unidades.

Nos biodigestores, a utilização de resíduos orgânicos, especialmente os de origem agrícola, pode intensificar a geração de biogás devido ao alto teor de matéria orgânica degradável.

Diante disso, recomenda-se a adoção de uma estratégia integrada que una o aprimoramento da captação de biogás em aterros sanitários existentes à expansão da implantação de biodigestores. Essa abordagem conjunta tem o potencial de ampliar a geração de energia renovável, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fomentar a produção de biofertilizantes, fortalecendo os princípios da economia circular.

Desse modo, esta pesquisa reafirma a relevância da proposta de uma gestão integrada de resíduos, capaz de contribuir significativamente para a mitigação das emissões e para o avanço das metas globais de sustentabilidade.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer, para realização deste estudo a Universidade do Vale do Rio dos Sinos pelo apoio recebido, e ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa DT2.

Referências Bibliográficas

ANGELIDAKI, I. et al. *Biomethanation and biogas production from waste biomass*. In: Comprehensive Biotechnology, Elsevier, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978008088504900207X. Acesso em: 01 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017*. Brasília: MDR.SNS, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2017. Acesso em: 10 maio 2025.Serviços e Informações do Brasil

CECCHI, F. et al. *Biogas generation from municipal solid waste: characterization and management*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 45, p. 473-481, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115000506. Acesso em: 18 maio 2025.

MATA-ÁLVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. *Anaerobic digestion of organic solid wastes: an overview of research achievements and perspectives*. Bioresource Technology, v. 74, n. 1, p. 3–16, 2000. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852400000237. Acesso em: 01 maio 2025.

MILANEZ, Artur Yabe et al. *Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 47, p. 221-275, mar. 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15384. Acesso em: 01 maio 2025.bibliotecadigital.economia.gov.br+2BNDES+2bibliotecadigital.economia.gov.br+2

RABONI, M.; URBINI, G. *Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives*. Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 9, n. 2, p. 191-202, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tjwynSTRV3wNdcPvWfY4fHz/abstract/?lang=en. Acesso em: 12 maio 2025.SciELO Brasil

SAMPAIO, Maurício de Moraes. *Análise técnica e econômica da injeção de biometano de aterro sanitário na malha de distribuição de gás natural*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2020. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/item/003159056. Acesso em: 12 maio 2025.Biblioteca Acadêmica USP+1Biblioteca Acadêmica USP+1

SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N.; CANDIANI, G. *Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 95-104, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/QjKnGWKRjYWLf4HqCzJhNLk/abstract/?lang=pt. Acesso em: 12 maio 2025.SciELO Brasil+2SciELO Brasil+2SciELO Brasil+2

TELES, Marcelo Cabral. *Viabilidade para Instalação de um Biodigestor no Hospital Universitário Maria Aparecida Pedrossian para Alimentar uma Microturbina*. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1234. Acesso em: 18 maio 2025.

TIAGO, S.; FERNANDO, F.; GIOVANO, C. *Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 95-104, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/QjKnGWKRjYWLf4HqCzJhNLk/abstract/?lang=pt. Acesso em: 18 maio 2025.

VANZIN, Emerson. *Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro Santa Tecla*. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006. Disponível em: https://repositorio.upf.br/handle/123456789/5678. Acesso em: 30 maio 2025.

WEILAND, Peter. *Biogas production: current state and perspectives*. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 85, n. 4, p. 849–860, 2010. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2246-7. Acesso em: 30 maio 2025.

USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM: UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA PARA O MUNÍCIPIO DE JURUTI, ESTADO DO PARÁ

1Láisa Costa Scherer, 2Acsa da Costa Silva, 3Amanda Estefânia de Melo Ferreira[3]

1Engenheira Sanitarista e Ambiental – Grupo de Estudos e Atividades Socioambientais – GEASA – UFOPA, e-mail: laisascherer2014@gmail.com; 2 Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – e-mail: acsacosi@gmail.com; 3UFOPA– Instituto de Formação Interdisciplinar e Intercultural - GEASA , e-mail: amanda.ferreira@ufopa.edu.br

Palavras-chave: Resíduos Urbanos; Compostagem Municipal; Gestão de Resíduos Sólidos.

Resumo

Este trabalho analisou a viabilidade técnica e econômica de implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) no município de Juruti - Pará, com base nas características locais de geração de resíduos sólidos urbanos. O estudo incluiu o dimensionamento da estrutura física, os processos operacionais e as estimativas de custos e receitas. Para isso, foram utilizadas metodologias de dimensionamento baseadas em dados do Plano Municipal de Saneamento do município, parâmetros técnicos adaptados do Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos do Ministério do Meio Ambiente e o Termo de Referência Técnico do Ministério das Cidades. Os custos de implantação e operação foram estimados a partir de referências orçamentárias públicas e cotações de mercado, e a análise econômica foi realizada por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL). Os resultados indicam que o projeto é tecnicamente viável e apresenta atratividade econômica, especialmente pela valorização da fração orgânica por meio da compostagem. Destaca-se, ainda, a importância da integração com ações de coleta seletiva e educação ambiental, essenciais para o sucesso da iniciativa e a participação social. A proposta contribui para a gestão sustentável de resíduos em contextos amazônicos e reforça a viabilidade de soluções baseadas na economia circular.

Introdução

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um desafio crítico no Brasil, dada a crescente quantidade e diversidade desses resíduos. O descarte inadequado gera impactos ambientais como poluição visual, contaminação do solo, água e ar, especialmente devido à decomposição da matéria orgânica, que produz chorume, uma substância altamente poluente (Santos et. al, 2022). Além disso, a gestão deficiente de RSU está ligada a sérios problemas de saúde pública, atraindo vetores de doenças e contribuindo para as mudanças climáticas devido à liberação de metano, representando um grande risco para o meio ambiente, a saúde e a sustentabilidade das comunidades (Figueiredo, 2022).

Portanto, é importante desenvolver estratégias sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos, visando reduzir a quantidade destinada à disposição final e diminuir a geração de resíduos. Neste sentido, a instalação de uma Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) surge como uma solução viável diante da composição dos resíduos sólidos urbanos, onde a fração orgânica representa 45,5% e os demais materiais recicláveis 33% (Brasil, 2022). Esta iniciativa se alinha com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, que prioriza a redução, reutilização e reciclagem de resíduos como elementos fundamentais para uma gestão sustentável. Além de contribuir para a criação de empregos e renda, a implementação da UTC pode impulsionar a economia local e fortalecer a sustentabilidade (Brasil, 2010).

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação de uma UTC de resíduos sólidos em Juruti, Pará. Visou fornecer uma base sólida para a captação de recursos, além de subsidiar o poder público na tomada de decisões e na formulação de políticas eficazes para a gestão dos resíduos sólidos na região.

Metodologia

Para o dimensionamento do pátio de compostagem e a usina de triagem, foi considerado os dados de geração da massa diária, composição gravimétrica e caracterização dos resíduos sólidos do Município de Juruti – PA, levantados no plano municipal de saneamento – PMSB (2023). O dimensionamento do espaço do galpão foi ajustado de acordo com os equipamentos e a mão de obra destinados à atividade, consultando o Termo de Referência Técnico do Ministério das Cidades (2008), considerando também o volume de resíduos a ser processado diariamente pela unidade de triagem.

Para o dimensionamento do pátio de compostagem foram considerados os parâmetros e técnicas de operação para unidades de compostagem convencional, adotando a metodologia do Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos (MMA, 2010) adaptada por (JERÔNIMO, 2019). Esta metodologia leva em consideração da massa diária de resíduos totais gerada (m) e porcentagem de resíduos orgânicos em relação a esse total de geração (p) para se obter a massa diária de resíduos orgânicos (m_0), aplicando a equação 1.

$$M_0 = \frac{M \times P}{100} \quad (1)$$

A fim de respeitar as proporções ideais resíduos a serem comportados, considerando a relação Carbono/ Nitrogênio de 30/1 (aproximadamente), utilizou-se a planilha de Cálculo de Compostagem disponibilizada no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2018), utilizando a equação 2 foi determinada a massa de material rico em carbono e/ou nitrogênio (M_a) que será incorporada em conjunto com os resíduos orgânicos do município (Pa) na leira de compostagem.

$$M_a = \frac{M_o \times P_a}{100} \quad (2)$$

Após a definição do quantitativo de massa de material adicional (M_a), soma-se a massa do material orgânico gerados (M_o) para definir a massa total (M_t) a ser compostada. Em seguida, utiliza-se a equação 3 para determinar o volume (V) que será colocado nas pilhas, que relaciona a densidade de mistura (peso específico) dos resíduos sólidos orgânicos.

$$V = \frac{Mt}{\gamma} \quad (3)$$

O formado das leiras adotado para este estudo foi a piramidal estendida e os valores de largura (L) e altura (H) devem ser adotados de maneira arbitrária levando em consideração o uso eficiente do espaço disponível e que facilite a manutenção das leiras a depender da técnica escolhida, manual ou mecanizada. De acordo com as especificações do MMA (2010), o limite máximo da altura de leiras de revolvimento é de 2,0 metros, quanto as dimensões da base podem variar de 2 a 4 metros (NUCASE, 2007). A partir dos valores adotados é possível calcular a área da secção transversal da leira (At) pela equação 4:

$$A_t = \frac{L \times H}{2} \quad (4)$$

Utilizando os valores encontrados de volume diário de resíduo e área transversal das leiras, pode-se calcular o comprimento de uma leira (C) pela equação 5, e em seguida área total ocupada por uma leira (Al), a partir da equação 6:

$$C = \frac{V}{At} \quad (5)$$

$$A_l = C \times L \quad (6)$$

Para o cálculo da área total do pátio de compostagem convencional devemos considerar ainda as atividades de revolvimento, sendo necessário então o dobro da área de leiras e ainda um adicional de 10% da área total para segurança e circulação no pátio (MMA,2010), bem como adotar o número de dias que uma leira ficará montada, sendo de 90 a 120 dias os valores encontrados na literatura (FERREIRA ET. AL, 2023). Assim, pode-se calcular a área total do pátio de compostagem (AT) utilizando a equação 7.

$$AT = (2 \times Al \times d) + (2 \times Al \times d) \times 0{,}1 \quad (7)$$

Para as estimativas orçamentarias da construção e operação da unidade de triagem foram baseadas no Custo Unitário Básico de Construção - CUB/m², referência do mês de outubro (SINDUSCON/PA, 2023), e pavimentação do pátio na planilha de custos obras de edificação e infraestrutura da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas do estado do Pará (SEDOP/PA, 2023). Quanto aos custos de operação foram baseados nos equipamentos e materiais necessários e dos valores disponibilizados por empresas fornecedoras, considerando ainda os custos de manutenção destes equipamentos. Além disso, o custo com energia elétrica, foi baseado na precificação da companhia de energia elétrica da região e os gastos com combustíveis baseado na quilometragem gasta pelos equipamentos pela cotação unitária do litro de combustível no período da pesquisa. Além disso, os custos de mão de obra necessária para a operação da UTC, foram levantados após a quantificação de funcionários, considerando o salário base do ano de 2023 adicionando 20% de insalubridade ou a cotação média nacional para determinas profissões.

Para as estimativas de Receita dos Recicláveis e Compostos utilizou-se as informações contidas no Anuário da Reciclagem, desenvolvido pelo Instituto Pragma (2022) e a precificação de Compostos Orgânicos, foi determinada pela cotação de mercado.

Para o estudo de viabilidade da UTC utilizou-se a ferramenta do Valor Presente Líquido – VPL, com auxílio do pacote office Excel, onde se calcula o valor presente de fluxos de caixa futuros, descontando-os pela Taxa Mínima de Atratividade - TMA exigida pelo investidor, também conhecida como taxa de desconto. Para que o projeto seja viável, o valor do VPL encontrado precisa ser positivo, significando que o projeto é viável financeiramente e pode ser considerado atrativo (VIANA, 2023). A TMA utilizada nesse estudo foi de 8,5%, a mesma definida na pesquisa de Silva *et. al* (2020) que trata sobre a viabilidade de implantação de uma usina de compostagem. O investimento inicial do projeto e o fluxo de caixa do empreendimento, foram estabelecidos partir do levantamento dos custos de implantação com obras civis, os custos relacionados a aquisição de equipamentos e ferramentas, os custos mensais com a operação e manutenção. A determinação da Receita Bruta Anual (RB) do empreendimento, foi estimada a partir das receitas mensais de venda dos recicláveis e compostos produzidos pela usina, utilizando a equação (8).

$$RB = receita\ mensal\ x\ 12\ meses \quad (8)$$

Com a determinação da RB, é possível realizar a classificação da atividade econômica do empreendimento, para definir o regime tributário que incidem sobre a receita bruta. Assim, definindo os custos com Impostos, Operação e Manutenção, calcula-se a Receita Líquida Anual (RL) do empreendimento, pela equação 9.

$$RL = RB - (\%\ alíquota\ de\ impostos + custos\ de\ operação\ e\ manuntenção) \quad (9)$$

Desta forma, é possível estimar o tempo necessário para o retorno do capital investido na implantação da Unidade de Tratamento de Compostagem (UTC), bem como determinar se os ganhos decorrentes da operação da unidade excedem os custos associados, permitindo a avaliação da viabilidade econômica do empreendimento.

Resultados e Discussões

O estudo gravimétrico indicou uma geração diária de aproximadamente 53 toneladas de resíduos domiciliares, dos quais 31,74% são recicláveis (16,83 ton.dia^{-1}), 44,28% são matéria orgânica (23,47 ton.dia^{-1}) e 23,98% pertencem à categoria "outros", incluindo rejeitos, logística reversa e resíduos de saúde. A partir desse estudo, a unidade de triagem foi projetada para operar de forma semiautomatizada, e ocupará um galpão de 1.000 m², atendendo às exigências do MMA; sua estrutura inclui esteiras, prensas, balança e empilhadeira, e a mão de obra necessária foi estimada em 60 trabalhadores, sendo 12 triadores por turno, considerando a substituição parcial do trabalho manual por equipamentos que otimizam o processo e reduzem os custos.

O complexo da UTC contará com uma unidade de apoio composta por um prédio administrativo de 25 m², sanitários coletivos masculinos e femininos com área total de 54 m² (conforme NR 24) e uma área de vivência de 83 m² para os colaboradores (NBR 9050:2020), além de um depósito de 650 m² para armazenar produtos processados e prensados por até dois dias e uma garagem de 200 m² destinada à guarda e manutenção de maquinários, conforme diretrizes do MMA (2010).

Para o dimensionamento da usina de compostagem convencional, considerou-se a fração orgânica dos resíduos e parâmetros técnicos como leiras de 1,6 m de altura, 2,5 m de largura e seção transversal de 2 m². A densidade da mistura foi estimada em 550 kg/m³ e a relação C/N adotada foi de 30/1, ideal para iniciar o processo de compostagem.

Os resíduos orgânicos domiciliares possuem relação C/N média de 25/1 (Trombin *et. Al*, 2005), portanto exige a complementação com substratos de maior teor de carbono para alcançar a relação C/N desejada de 30/1, como resíduos secos e palhosos que são materiais ricos em carbono, provenientes das podas de árvores do serviço de limpeza urbana, apresentando uma relação C/N de 37,36/1 (Nascimento *et. al* 2014). Essa prática poderá aproveitar os resíduos de poda, valorizando a matéria orgânica e gerando composto útil para arborização e áreas verdes.

Com base na planilha da Embrapa (2018), para atingir a relação C/N de 30/1, a mistura ideal será de 51,9% de resíduos orgânicos domiciliares e 48,1% de podas de árvores, resultando em 11,29 ton.dia^{-1} de material seco adicionado e uma massa total de 34,76 ton.dia^{-1} a ser compostada.

Desta forma, estimou-se um volume diário de 63,19 m³ de resíduos compostados, com leiras de 31,6 m de comprimento e área de 78,99 m² cada; considerando um ciclo de 120 dias e área adicional para circulação de tratores, o pátio de compostagem terá cerca de 2,1 hectares, com pavimentação em concreto de 10 cm, conforme diretrizes para estimativas orçamentárias.

O custo estimado para a implantação das obras civis da UTC foi de R$ 2.368.470,22. Dentre os componentes analisados, o galpão de triagem representou o maior investimento, totalizando R$ 1.073.330,00, o que corresponde a aproximadamente 45% do custo total. As áreas de apoio demandaram R$ 871.543,96 (37%) e o pátio de compostagem, R$ 398.102,86 (17%). A drenagem do pátio e as instalações complementares, como elétrica e hidráulica, representaram frações menores do montante total.

Essa porcentagem de custo significativa para estes componentes infraestruturais é observada em outros estudos de viabilidade de implantação de UTC, chegando a representar quase 80% do custo total das obras (SILVA E REIS, 2012).

De acordo com o levantamento dos equipamentos necessários para operação da UTC, foram realizadas as estimativas orçamentarias para aquisição. Na tabela 1 e 2 são apresentados os equipamentos e materiais com os respectivos custos de aquisição para operação da UTC, sem considerar custos com frete e demais tributos.

Tabela 5 - Custos de aquisição de equipamentos e materiais para operação unidade de triagem

Equipamentos	Qtd	Custo Unitário	Custo Total
Esteira 20x1m 4 C.v. (ER20 - DEMAKINE)	3	R$ 49.000,00	R$ 147.000,00
Prensa Enfardadeira (PHV DT 05 - Detroit)	2	R$ 12.658,39	R$ 25.316,78
Empilhadeira Semielétrica (TEMSE15351 - Tander)	1	R$ 17.549,00	R$ 17.549,00
Balança mecânica (Welmy, 1000kg, 108 CH)	1	R$ 2.499,00	R$ 2.499,00
Carrinho plataforma (800kg)	2	R$ 1.590,00	R$ 3.180,00
Bombonas de 200l	410	R$ 200,00	R$ 82.000,00
TOTAL			R$ 277.544,78

Fonte: Autores, 2023

Os custos estimados para aquisição dos equipamentos e materiais da unidade de triagem somaram R$ 277.544,78. Onde os principais investimentos devem ser direcionados às esteiras de triagem (52,97%), seguidas das prensas enfardadeiras (9,20%)

e da empilhadeira (5,31%). No que diz respeito a unidade de compostagem, esses cursos podem ser vistos na Tabela 2, onde pode-se observar que a maior parte do investimento está concentrada na aquisição do trator agrícola e do compostor de arrasto. Os demais itens, como a carreta de transporte, peneira rotativa e demais equipamentos de apoio, somam os 8,34% restantes, compondo a estrutura mínima necessária para garantir a eficiência operacional do processo de compostagem.

Tabela 6 - Custos de aquisição de equipamentos e materiais para operação unidade de Compostagem

Equipamento	Custo Total	% do Total
Trator 4x4 90cv (5080E - John Deere)	R$ 379.000,00	67,03%
Compostador 1,6x2,5m (Renova 2.5 - Eco Agrícola)	R$ 108.000,00	19,12%
Equipamentos de apoio (Carreta, Peneira, triturador, termômetro etc.)	R$ 47.132,13	8,34%
TOTAL	R$ 565.132,13	100%

Fonte: Autores, 2023

Os demais custos operacionais e de manutenção da UTC, estão relacionados na tabela 3, estes gastos ocorrem mensalmente e são baseados na produtividade da usina, incidindo diretamente no fluxo de caixa.

Tabela 7 - Estimativas do custo de operação e manutenção da UTC

Categoria	Itens Principais	Qtd.	Unitário (R$)	Total Mensal (R$)
Mão de obra	Triadores, auxiliares, enfardador etc.	-	-	R$ 130.248,00
Energia e comunicações	Energia, telefonia, internet	-	-	R$ 2.442,46
Combustível	Trator (eficiência de 15 l/h)	1170 L	R$ 6,45	R$ 7.546,50
Manutenção	Equipamentos (20% do custo anual)	-	-	R$ 8.790,89
Materiais diversos	Sacos p/ composto, termômetro etc.	-	-	R$ 1.390,60
TOTAL				R$ 150.418,45

Fonte: Autores, 2023

A contratação de mão de obra, representa 86,61% do total dos custos, podendo ser otimizada por meio de parceria com cooperativas de catadores. A concessão do espaço da unidade para que essas organizações assumam parte da triagem, mediante um acordo de retorno financeiro à prefeitura para manutenção do prédio e dos equipamentos, pode ser uma contrapartida justa e benéfica. Além de promover uma gestão mais colaborativa e sustentável da unidade, tal parceria incentiva essa integração, destacando a importância de apoiar cooperativas e associações de catadores como instrumento prioritário para o acesso a recursos da União (BRASIL, 2010). Além disso, as receitas mensais com a operação da estrutura, apresentam-se na tabela 4, podendo gerar receita mensal estimada de R$ 1.232.189,25, ou R$ 14.786.271,00 ao ano.

Tabela 4 - Estimativas de receita com a venda de resíduos recicláveis processados pela UTC

Material	Ton/dia	Ton/mês	Preço por tonelada	Receita mensal
Plástico	9,2538	277,614	R$ 810	R$ 224.867,34
Papel/papelão	3,9379	118,137	R$ 430	R$ 50.798,91
Vidro	1,6059	48,177	R$ 400	R$ 19.270,80
Metal ferroso	0,7526	22,578	R$ 500	R$ 11.289,00
Metal não ferroso	1,272	38,16	R$ 3770	R$ 143.863,20
Compostos	17,38	521,4	R$ 1500	R$ 782.100,00
TOTAL				R$ 1.232.189,25

Fonte: Autores, 2023

A principal fonte de receita indicada nessa pesquisa, seria a comercialização dos compostos orgânicos, que representam 63,47% do total arrecadado. Além disso, materiais como plástico e metais (ferrosos e não ferrosos) também contribuem substancialmente com a receita. Considerando a estimativa de receita bruta anual de R$ 14.786.271,00 geradas pela implantação da UTC, foi consultado as taxas de impostos que são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Simulação simplificada dos principais tributos pagos pelas empresas de comercialização

Tributos	Alíquota	Valor
PIS	0,65%	R$ 96.111,00
COFINS	3,00%	R$ 443.588,00
IRPJ	15,00%	R$ 271.725,00
CSLL	9,00%	R$ 159.692,00
ICMS	19,00%	R$ 2.809.391,00
TOTAL	46,65%	R$ 3.780.507,00

Fonte: Ferramenta de Planejamento Tributário(https://www.ozai.com.br/lucro-real-lucro-presumido-simples-nacional/)

A simulação dos tributos no regime de lucro presumido aponta o total de impostos anuais a serem pagos pela UTC. Considerando esses tributos e os custos operacionais, o fluxo de caixa no cenário de 100% de comercialização da produção indica um lucro mensal de R$ 766.728,55 e uma receita líquida anual de R$ 9.200.742,63.

Esse valor é inferior ao identificado por Vieira (2022), devido à ausência da variável tributária em seu estudo. O resultado reforça a importância de incluir os encargos fiscais nas análises de viabilidade, garantindo maior aderência à realidade econômica do empreendimento.

Partindo desses valores foi realizada a análise de VPL, avaliando a lucratividade em dez anos de funcionamento da UTC, explorando variados cenários de vendas. Os valores correspondentes a análise de VPL são representados na tabela 6.

Tabela 6 - Análise do VPL no período de 10 anos após instalação da Usina.

Ano	Fluxo de Caixa Mensal	Fluxo de Caixa Anual
0		-R$ 3.215.449,04
1	R$ 536.709,99	R$ 6.440.519,84
2	R$ 536.709,99	R$ 6.440.519,84
3	R$ 613.382,84	R$ 7.360.594,10
4	R$ 613.382,84	R$ 7.360.594,10
5	R$ 613.382,84	R$ 7.360.594,10
6	R$ 690.055,70	R$ 8.280.668,37
7	R$ 690.055,70	R$ 8.280.668,37
8	R$ 690.055,70	R$ 8.280.668,37
9	R$ 766.728,55	R$ 9.200.742,63
10	R$ 766.728,55	R$ 9.200.742,63
	TMA	**8,50%**
	VPL	**R$ 46.710.118,62**
	TIR	**204%**

Fonte: Autores, 2023

A Tabela 6 apresenta a análise do Valor Presente Líquido (VPL) em diferentes cenários de desempenho de vendas ao longo de oito anos. Foram considerados quatro cenários progressivos: 70% (anos 1 a 3), 80% (anos 4 a 6), 90% (anos 7 e 8) e 100% das vendas (cenário ideal). Utilizando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8,5%, o VPL do projeto foi estimado em R$ 46.710.118,62, indicando viabilidade econômica e elevada rentabilidade. A Taxa Interna de Retorno (TIR) atingiu 204%, demonstrando que os fluxos de caixa futuros superam significativamente o investimento inicial, com retorno já no primeiro ano de operação.

Considerações finais

A pesquisa avaliou a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) para o município de Juruti-PA, com foco na gestão de resíduos sólidos urbanos. Entre os principais resultados, destacam-se o dimensionamento da infraestrutura, a definição das atividades operacionais e a estimativa dos custos de investimento e operação. A análise financeira revelou um cenário altamente lucrativo, com geração de receita líquida anual superior a R$ 9,2 milhões, VPL de R$ 46,7 milhões e TIR de 204%, confirmando a atratividade do empreendimento.

A maior parte dos custos mensais está relacionada à mão de obra, representando mais de 80% do total. Nesse contexto, foi sugerida a parceria com cooperativas de catadores como alternativa para reduzir despesas operacionais, promover inclusão social e alinhar-se à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Por sua vez, a principal fonte de receita é a comercialização de composto orgânico, que representa 63% do total arrecadado, seguida pelos resíduos recicláveis, com destaque para plásticos e metais.

O estudo também enfatiza a necessidade de integrar ações de coleta seletiva e educação ambiental como estratégias complementares à viabilidade da UTC. A coleta seletiva na fonte garante maior eficiência na triagem, reduz custos com resíduos perigosos e prolonga a vida útil de aterros. Já a educação ambiental fortalece a participação social e o compromisso coletivo na separação e destinação adequada dos resíduos.

Por fim, identificou-se como limitação a ausência de estudos locais sobre o impacto das chuvas na compostagem em larga escala, recomendando-se adaptações estruturais após o primeiro ano de operação. Assim, o projeto se apresenta como uma solução sustentável para a gestão de resíduos, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos, além de contribuir significativamente para o desenvolvimento estratégico e sustentável de Juruti-PA.

Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 9050:** Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. **Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Dispõe a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 3 de ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** - Planares [recurso eletrônico] /coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF:MMA, 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planilha de Compostagem. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/8417/planilha-compostcalc. Acesso em: 27 de out. 2023.

FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO TRIBUTÁRIO. OZAI, 2023. Disponível em: Lucro Real x Lucro Presumido x Simples Nacional - Simulador Online (ozai.com.br). Acesso em 09 de nov. 2023.

FERREIRA, Amanda Estefânia de Melo; SANTOS, Graciene Conceição dos; CUNHA, Suelen Machado; SANTOS, Larissa Oliveira dos; SANTOS, Daniela Mayara Pedroso dos**. A experiência da prática da compostagem aplicada ao ensino, pesquisa e extensão em uma universidade da Amazônia**. 2023. Cadernos de Agroecologia - Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - ISSN 2236-7934 v. 19, n. 1, 2024

FIGUEIREDO, Carolina Pia Barros Dias de. **Gestão de resíduos e crises humanitárias:** O caso dos lixões em Fortaleza, Brasil. 2023. Dissertação de Mestrado.

INSTITUTO PRAGMA. Anuário da Reciclagem 2022. Brasília – DF, 2022. Disponível em:https://uploadsssl.webflow.com/609063d326f8d4cb6e852de0/63ac4964a8bd71442db83ded_Anu%C3%A1rio%20da%20Reciclagem%202022.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2023

JERÔNIMO, Guilherme Junqueira et al. **Potencialização da compostagem com aplicação do biocomposto e dimensionamento de pátio para cidade de médio porte**. 2019.JURUTI. Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Juruti. Juruti – PA, 2023.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Termo De Referência Técnico para elaboração do projeto básico e executivo completo de galpão/unidade de triagem para coleta seletiva. Brasília, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2010. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Produtos_Consultores/Maria%20Stella%20-%20Manual_implantacao_compostagem_coleta_seletiva.pdf.Acesso em: 19 out. 2023.

NASCIMENTO, Marcelo dos Santos; FREITAS; Karla Fernanda Silva; SILVA Marlene Vaz., 2014. **Produção e caracterização de silagens de resíduos de peixes comercializados no mercado público de Parnaíba**. PI. Enciclopédia Biosfera 10, 2458-2466. Disponível em: https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/producao%20e%20caracterizacao.pdf. Acesso em: 15 de out. de 2023.

NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃOE EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - NUCASE. Resíduos sólidos: processamento de resíduos sólidos orgânicos: guia do profissional em treinamento : nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: Re CESA, 2007. 68 p.

SANTOS, Maurina de Jesus; RODRIGUES, Alex Sandro Santos; ANDRADE, João Vieira de. **Os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos**. 2022.

SEDOP/PA- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas do Pará. **Composição de Custo Unitário.** Belém, 2023. Disponível em: https://www.seop.pa.gov.br/sites/default/files/composicao_de_custo_unitario_ccu_0.pdf. Acesso em: 09 de nov. 2023.

SILVA, Paulo Henrique da; REIS, Sérgio Alves dos. **Usina de Triagem e Compostagem como alternativa viável a problemática dos resíduos sólidos do Município de Santa Bárbara Do Leste, Mg**. 2012.

SINDUSCON/PA, Sindicato da Indústria da Construção Civil do Pará. **Custos Unitários Básicos de Construção**. Belém, 2023. Disponível em: https://institucional.sindusconpa.org.br/arquivos/cub/CUB_202310.pdf. Acesso em: 09 nov. 2023.

TROMBIN, D. F. et al. A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma–SC. **XXV Encontro Nac. de Eng. De Produção–Porto Alegre–RS,** 2005.

VIANA, Lislye. VPL: o que é, fórmula e como usar o método VPL para investir. Sitio Eletrônico: INCO – Investimentos Coletivos. 2023. Disponível em: https://blog.inco.vc/financas/vpl/.Acesso em: 09 de nov. 2023.

VIEIRA, Fabio Fonseca. **Análise da viabilidade de implantação de usina de triagem e compostagem no município de Campina Grande–PB**. 2022. Dissertação de Mestrado.

PRÉ-SELEÇÃO DE ÁREA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA QUARTA COLÔNIA/RS COM BASE NO MÉTODO MAUT APOIADO POR SIG

1Rodrigo Girardon Della Pace, 2João Gabriel Munareto do Amaral, 3Francisco Paim de Freitas Neto, 4Yamila Soledad Chicherit, 5Rutineia Tassi e 6Alejandro Ruiz-Padillo

[1]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail:rodrigodellapace02@gmail.com; [2]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: eng.joaogabriel@gmail.com;[3]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: francisco.freitas@acad.ufsm.br;[4]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail:yamichicherit@gmail.com;[5]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: ruti@ufsm.br;[6]Universidade Federal de Santa Maria, e-mail:alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br

Palavras-chave: MAUT; *software* QGIS; Resíduos sólidos urbanos.

Resumo

A gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um desafio crescente, especialmente em regiões descentralizadas como a Quarta Colônia, na região Central do Estado do RS. Neste estudo, o método MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo), foi utilizado para selecionar a área mais viável para implantação de um sistema integrado de disposição final de RSU, incluindo aterro sanitário, unidade de triagem e compostagem, considerando pesos atribuídos por especialistas. A partir de análise espacial no *software* QGIS, foram avaliadas três áreas candidatas, considerando oito critérios técnicos definidos pelas normas da ABNT NBR 13896:1997 e Diretriz Técnica nº 04/2017 da FEPAM. A área selecionada para implantação do RSU destacou-se pelo equilíbrio entre os critérios e sua adequação ambiental, técnica e logística. Os resultados confirmam a robustez do método MAUT frente a variáveis interdependentes, recomendando-se que os resultados deste sejam tomados como indicativos preliminares, uma vez que são necessárias análises complementares de impacto ambiental, geotécnico e hidrológico para consolidar a decisão.

Introdução

Nas últimas décadas, observa-se um aumento expressivo na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, acompanhado por um crescimento proporcional na produção per capita (Lino; Ismail; Castañeda-Ayarza, 2023). Esse cenário tem impulsionado debates importantes sobre a gestão e a destinação adequada dos resíduos (Nascimento; Almeida; Silva, 2015; Cattani *et al*., 2024), especialmente diante dos impactos ambientais associados à disposição final, como a poluição do solo, da atmosfera e dos recursos hídricos (Salim *et al.*, 2023). Entre as soluções consideradas ambientalmente adequadas para o gerenciamento de resíduos sólidos, destacam-se os aterros sanitários, a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (Abdel-Shafy; Mansour, 2018; Gomes et al., 2015; Karungamye, 2024), com ênfase crescente na implantação de usinas de triagem e compostagem (Felicori *et al*., 2016).

Este estudo propõe a avaliação de três áreas candidatas para a instalação de um sistema de disposição final de resíduos sólidos na região da Quarta Colônia, na região Central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), contemplando um aterro sanitário, uma usina de triagem/reciclagem e uma unidade de compostagem. A seleção da área mais adequada visa atender os nove municípios da região, com base em critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13896:1997 e pela Diretriz Técnica nº 04/2017 da FEPAM, relativos ao licenciamento ambiental de aterros sanitários.

A análise comparativa das áreas foi realizada por meio da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), uma abordagem sistemática que considera critérios ambientais, técnicos, sociais e econômicos, proporcionando uma base estruturada e transparente para a tomada de decisão (Rezaeisabzevar; Bazargan; Zohourian, 2020; Wu *et al.*, 2025). O MAUT é um método normativo que permite a avaliação de múltiplas alternativas com base em diferentes atributos, os quais recebem pesos conforme sua importância relativa. A agregação dessas avaliações, por meio de uma função de utilidade, gera uma pontuação única para cada alternativa (Jansen, 2011). Quando comparado a outros métodos, como o Processo de Hierarquia Analítica (AHP), o MAUT apresenta maior flexibilidade e precisão, especialmente em problemas com muitos critérios, sendo especialmente indicado em contextos com elevado número de variáveis (Zhang; Li; Jiang, 2010).

Para garantir a objetividade do processo, foram definidos oito critérios técnicos, avaliados com o apoio de análise espacial no *software* QGIS (Aramaki; Pereira; Santos, 2022; Azevedo; Silva; Silva, 2024). O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado eficaz na identificação de áreas adequadas para disposição final de resíduos, ao integrar dados geoespaciais e subsidiar decisões com maior embasamento técnico (Lopes, 2022).

Metodologia

A região da Quarta Colônia está localizada na porção central do estado do Rio Grande do Sul, e é composta por nove municípios: Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Pinhal Grande, Restinga Seca, São João do Polêsine e Silveira Martins. Conforme Figura 1, essa região abrange uma área total de 2.900,17 km², com predomínio de atividades econômicas do setor primário, destacando-se a agropecuária familiar, baseada no cultivo de soja, milho, uva, e a pecuária de corte e leite (Manfio, 2021). No entanto, a gestão de RSU na Quarta Colônia ainda enfrenta desafios relacionados à logística e à coleta seletiva. Conforme o PRGIRS (2012), todos os municípios da região destinam atualmente seus resíduos ao aterro sanitário

de Santa Maria, operado pela Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR). Essa centralização acarreta custos elevados com transporte, dependência logística de infraestrutura externa, e limitações à implementação de estratégias locais de triagem, compostagem e valorização dos resíduos (Aryan *et al.*, 2023; Nanlin *et al.*, 2023; Weidner *et al.*, 2020).

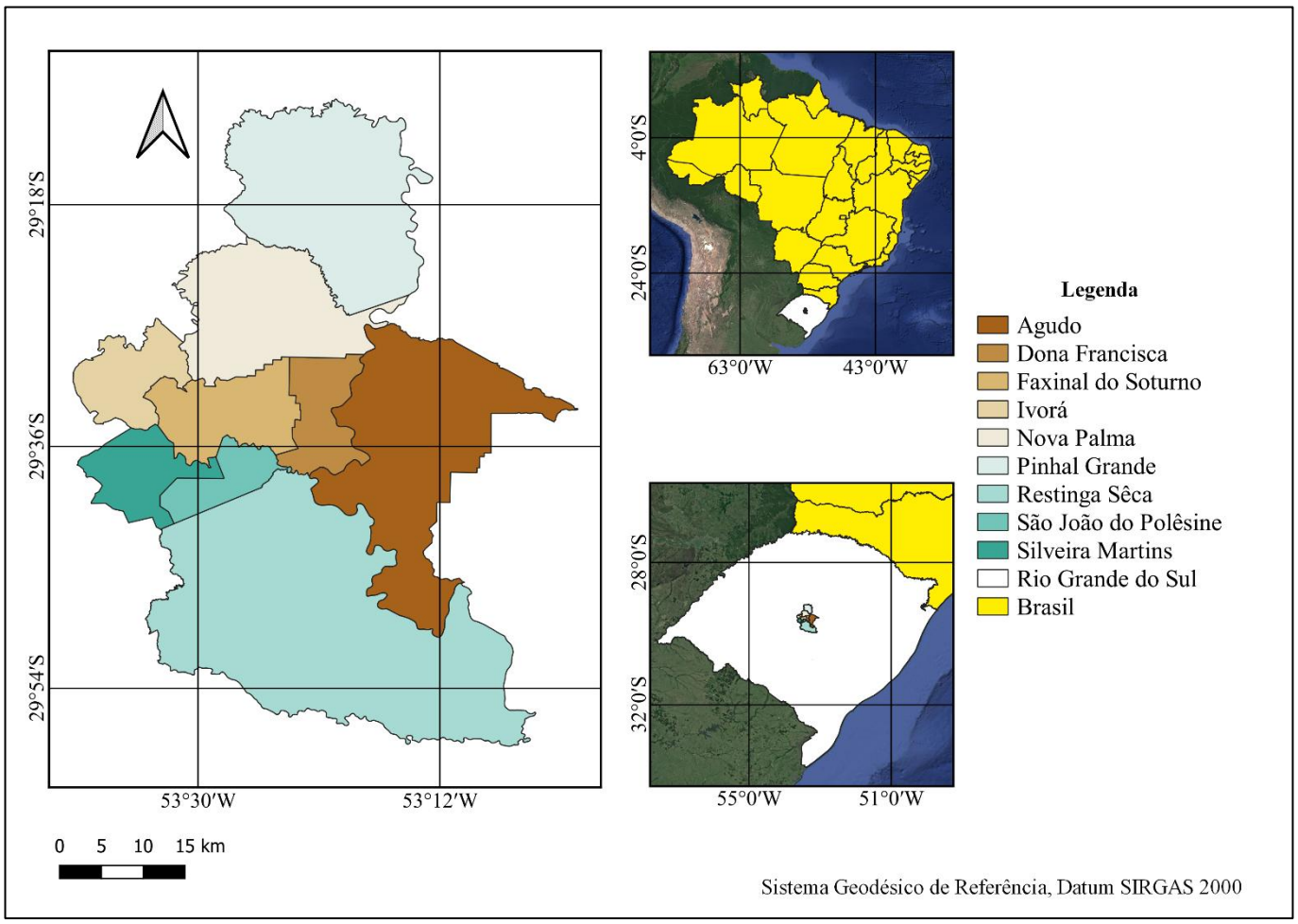


Figura 1 - Mapa de localização da região da Quarta Colônia
Fonte: Elaborado pelos autores

Para estimar o espaço necessário às operações de manejo e disposição de RSU na Quarta Colônia, utilizaram-se dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) e projeções populacionais para 2055, calculadas pelo método geométrico com base nos censos de 2010 e 2022 do instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). Com a população projetada, foi estimada a geração de resíduos para cada município, considerando os resíduos sólidos domiciliares (RSD) e de limpeza urbana (RSLU), a partir de coeficientes per capita ($kg \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$) fornecidos pelo SNIS.

Para os RSLU, adotou-se um coeficiente fixo de 0,15 $kg \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$, aplicado à população projetada para 2055, considerando cobertura total da coleta pública. A soma dos RSD e RSLU resultou na geração total de RSU da região, utilizado para o dimensionamento das estruturas de triagem, compostagem e disposição final. Com essa estimativa, calculou-se a área mínima necessária para o aterro sanitário, conforme a Equação 1:

$$Ap = \frac{VU \,.365\,.Q}{H\,.\phi} \qquad (1)$$

Onde: Ap é a área preliminar do aterro sanitário, sem as unidades de triagem e compostagem, VU é a vida útil do aterro (30 anos), Q é a quantidade de resíduos sólidos gerados, H a altura da célula do aterro (20 metros) e ϕ é o peso específico do resíduo compactado (650 kg/m³).

A área preliminar do aterro foi ampliada em 30% para contemplar a infraestrutura necessária (acessos, cercamento, entre outros), posteriormente, essa área foi triplicada para incluir também as unidades de triagem, reciclagem e compostagem, pelo fato de não existir equação para a estimativa da área necessária para implantação dessas unidades. Essa ampliação está alinhada à ABNT NBR 13896:1997, que, embora não forneça equações específicas, recomenda a previsão de áreas adicionais para infraestrutura de apoio e futuras instalações.

A partir da área preliminar do aterro sanitário, foram identificadas três áreas potenciais na Quarta Colônia, avaliadas segundo normas brasileiras, como a ABNT NBR 13896:1997, e diretrizes estaduais, como a Diretriz Técnica nº 04:2017 (FEPAM). A análise também considerou referências técnicas, destacando o aterro sanitário de Chapecó (SC), modelo técnico-operacional na área (Souza; Barbosa; Ferreira, 2012).

A Tabela 1 apresenta os critérios técnicos usados para avaliar as áreas potenciais para implantação do aterro sanitário. Foram considerados apenas critérios quantificáveis via geoprocessamento como: área de expansão (C1), distância mínima em relação a núcleos populacionais (C2), distância mínima dos centros urbanos (C3), distância de cursos d'agua (C4), declividade do terreno (C5), distância das vias (C6), profundidade do lençol freático (C7) e grau de permeabilidade do solo (C8). Os dados de entrada para os mapas temáticos foram obtidos de bases oficiais, incluindo: TOPODATA (modelo digital de elevação), Embrapa (tipo de solo), FEPAM (hidrografia, manchas urbanas e rodovias) e CPRM (informações hidrogeológicas). Todos os processamentos foram realizados utilizando o QGIS, versão 3.40.1.

Tabela 1 - Critérios técnicos para avaliação de áreas potenciais para o aterro sanitário, unidade de triagem e compostagem

Critério	Importância técnica	Diretriz Técnica Nº 04/2017 (FEPAM)	ABNT NBR 13896:1997
Área de expansão (C1)	Possibilidade de ampliação futura sem desmatamento	Área adjacente ou plano de expansão	Recomenda prever área adicional para expansão futura e instalações complementares
Distância de núcleos populacionais (C2)	Redução de impactos à população	Mínimo de 500 m de núcleos populacionais	Recomenda afastamento de áreas habitadas, mas não define distância mínima exata
Distância dos centros urbanos (C3)	Redução de impactos à população	Entre 2 km e 15 km	Indica considerar fatores logísticos e sociais, mas não especifica distâncias
Distância de cursos d'água (C4)	Proteção contra contaminação hídrica	Mínimo de 200 m de nascentes e corpos d'água	Recomenda afastamento adequado de corpos hídricos para evitar contaminação
Declividade do terreno (C5)	Estabilidade e drenagem	Entre 2% e 20%	Terrenos com declividade suave são recomendados
Distância das vias (C6)	Acesso logístico	Mínimo de 20 m da faixa de domínio das vias	Recomenda proximidade de vias de acesso, mas sem definir faixa mínima
Profundidade do lençol freático (C7)	Prevenção de contaminação subterrânea	Mínimo de 2 m da base do aterro	Exige barreiras de proteção, mas não especifica profundidade mínima
Grau de permeabilidade do solo (C8)	Segurança e impermeabilização	Preferência por solos argilosos	Recomenda uso de solos de baixa permeabilidade

Fonte: Elaborado pelos autores

Os critérios adotados neste estudo também foram considerados por Demarco *et al*. (2020), em análise realizada para o município de Mostardas/RS, dentre eles: distância de núcleos urbanos e corpos hídricos, declividade do terreno, proximidade de vias de acesso, profundidade do lençol freático e permeabilidade do solo, evidenciando uma convergência metodológica que reforça a consistência da presente análise multicritério.

Para a tomada de decisão, utilizou-se o método MAUT, aplicado em quatro etapas principais. Primeiro, definiu-se os critérios, identificados como C1 a C8, com base na ABNT NBR 13896:1997 e, principalmente, na Diretriz Técnica Nº 04/2017 (FEPAM), por estabelecer critérios de forma objetiva e quantitativa. Em seguida, pesos foram atribuídos por um grupo de quatro profissionais formados nas áreas de engenharia ambiental, engenharia civil e engenharia hídrica, usando uma escala de 1 a 8 conforme Morgan, Higgins e McAllister (2001). Na terceira etapa, os dados foram normalizados via técnica Min-Max, utilizando a Equação 2, para garantir comparabilidade entre os critérios:

$$Ni = \frac{Xi - Xmin}{Xmax - Xmin} \qquad (2)$$

Onde: Ni é o valor normalizado, Xi é o valor do critério para a alternativa avaliada, e Xmin e Xmax são os valores mínimo e máximo para o critério.

Os resultados variam entre 0 e 1, permitindo a comparação entre critérios com diferentes unidades. Por fim, a pontuação final de cada alternativa foi calculada pela soma ponderada das utilidades normalizadas, apresentada na Equação 3:

$$U(A) = \sum_{i=1}^{n} wi \,.\, ui(A) \qquad (3)$$

Onde: $U(A)$ é a utilidade da alternativa A, w_i é o peso do critério i, e $ui(A)$ é o valor normalizado do critério i para a alternativa A.

Resultados e Discussão

A área estimada para o aterro sanitário foi de 3,98 ha, com acréscimo de 30% para infraestrutura. Esse valor foi triplicado para incluir triagem, reciclagem e compostagem, totalizando 11,95 ha para o sistema integrado de disposição de RSU, referência utilizada na seleção das áreas candidatas. A Tabela 2 mostra a metodologia descrita, apresentando os critérios C1 a C8, os pesos atribuídos por quatro especialistas e os interesses associados (maximizar ou minimizar).

Tabela 2 - Ponderação dos critérios

Ranqueamento	C1 Área de expansão	C2 Distância de núcleos populacionais	C3 Distância de centros urbanos	C4 Distância de cursos d'água	C5 Declividade do terreno	C6 Distância das vias	C7 Profundidade do lençol freático	C8 Grau de permeabilidade do solo
Profissional 1	2	8	7	6	1	3	4	5
Profissional 2	4	3	2	8	6	1	7	5
Profissional 3	3	4	5	8	2	1	6	7
Profissional 4	8	3	4	7	1	2	5	6
Soma	17	18	18	29	10	7	22	23
Pesos	11,8%	12,5%	12,5%	20,1%	6,9%	4,9%	15,3%	16,0%
Interesse	Max	Max	Max	Max	Min	Min	Max	Max

Fonte: Elaborado pelos autores

A aplicação do método MAUT permitiu uma avaliação objetiva das três áreas candidatas, com base em critérios ambientais, técnicos e econômicos. A área mais adequada foi determinada considerando os pesos atribuídos a cada critério. Os fatores que mais influenciaram a decisão foram, em ordem decrescente: distância de cursos d'água (20,1%), grau de permeabilidade do solo (16,0%), profundidade do lençol freático (15,3%), distância de centros urbano (12,5%) s e distância de núcleos populacionais (12,5%), área de expansão (11,8%), declividade do terreno (6,9%) e distância das vias (4,9%). A tabela 3 apresenta os resultados do método de MAUT.

Tabela 3 - Resultados do método de MAUT

Dados quantitativos obtidos via QGIS								
Áreas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
área 1	14,67 ha	793 m	2.900 m	229 m	0-3%	188 m	0-100 m	4*
área 2	29,60 ha	500 m	1.674 m	560 m	0-3%	20 m	0-100 m	4*
área 3	15,33 ha	592 m	4.045 m	500 m	3-8%	20 m	100-500 m	7**
Resultados normalizados e ponderados (MAUT)								
área 1	0,00	1,00	0,52	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
área 2	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
área 3	0,04	0,31	1,00	0,82	0,00	1,00	1,00	1,00
área 1				0,26				
área 2				0,44				
área 3				**0,70**				

* O valor 4 refere-se a Planossolos Háplicos Eutróficos, solos com permeabilidade média a alta;
**O valor 7 refere-se a Argissolos Vermelhos Distróficos, solos de textura argilosa e baixa permeabilidade, mais adequados para aterros sanitários.

Fonte: Elaborado pelos autores

Nessa tabela, os dados referem-se aos valores quantitativos obtidos por meio de geoprocessamento no QGIS, enquanto os resultados correspondem à aplicação do método MAUT, com normalização dos critérios e ponderação conforme os pesos definidos. Os resultados indicam que a Área 3 foi a alternativa mais viável, com valor final de 0,70, destacando-se das demais, conforme evidenciado na Tabela 3. Esse valor, mais próximo de 1 na escala de normalização utilizada pelo método MAUT, indica maior adequação da alternativa em relação aos critérios avaliados.

A Área 3, localizada nas proximidades do município de Pinhal Grande (Figura 2), se sobressaiu pelas condições favoráveis de localização, solo e profundidade do lençol freático, estando em conformidade com as exigências da FEPAM (2017) e ABNT NBR 13896:1997. Além do mais, os dados evidenciam a robustez do método MAUT, cuja aplicação possibilitou uma decisão fundamentada mesmo diante de variáveis complexas e interdependentes.

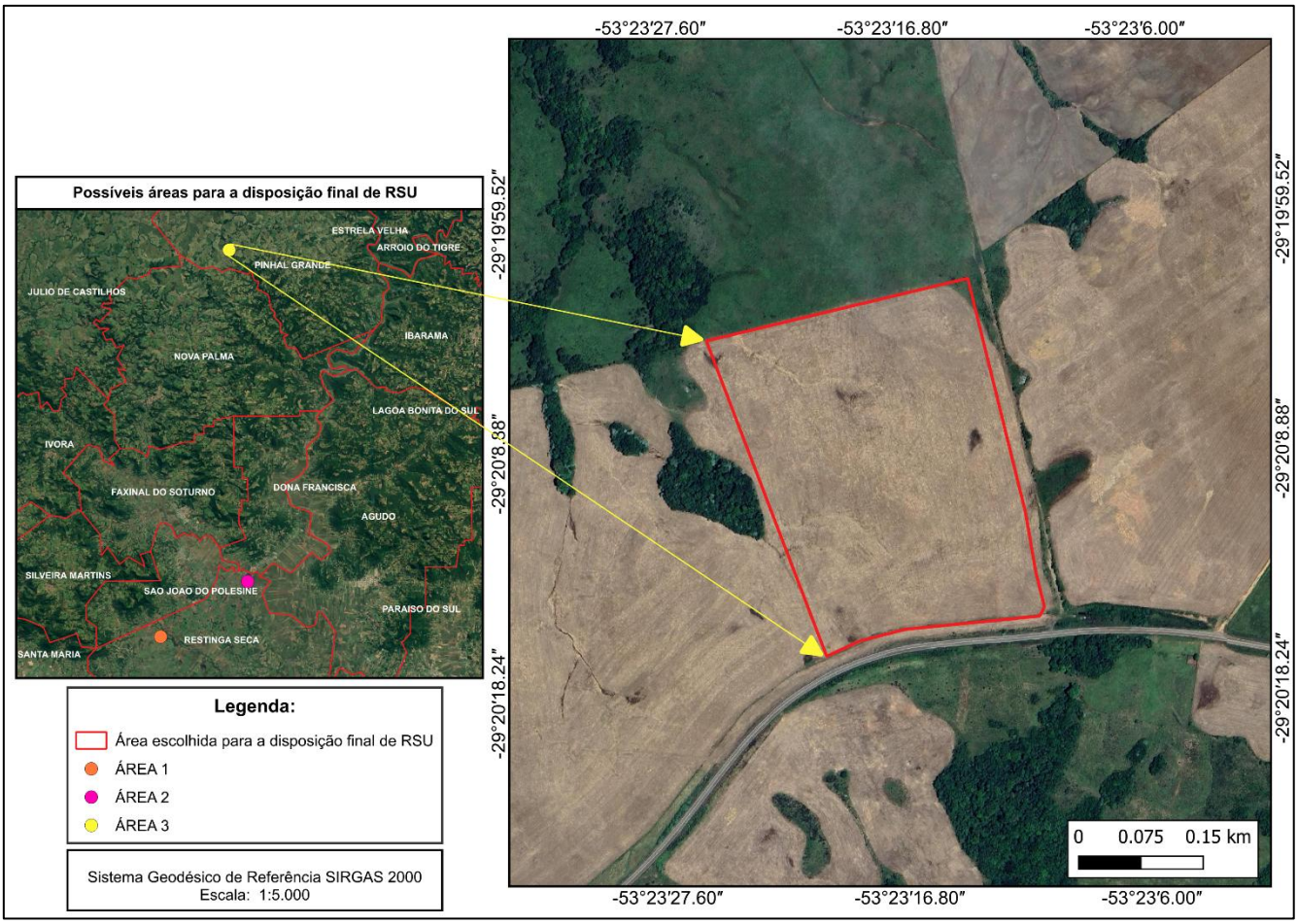


Figura 2 - Mapa de localização da área escolhida para a disposição final de RSU
Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se que a Área 3 apresenta uma posição estratégica, com acesso facilitado por vias existentes (asfaltadas), afastamento adequado de cursos d'água para minimizar riscos de contaminação, e distância suficiente dos centros urbanos e núcleos populacionais para mitigar impactos, mas ainda próxima o bastante destes para assegurar viabilidade logística. Além disso, está inserida em zona com características geotécnicas favoráveis, como baixa declividade, solo de baixa permeabilidade (Argissolo Vermelho Distrófico) e profundidade do lençol freático superior a 100 metros, o que contribui significativamente para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

Este estudo apresenta similaridades com a de Senkiio *et al*. (2022), que também integrou SIG e análise multicritério para seleção de áreas para disposição de RSU, no entanto, o estudo paulista aplicou o AHP com lógica fuzzy. O estudo de Senkiio *et al*. (2022) reforça a importância de análises complementares para validação das áreas selecionadas. Da mesma forma, Othman *et al*. (2021) aplicaram cinco métodos de apoio multicritério integrados a dados espaciais em ambiente SIG para identificar áreas adequadas à disposição de RSU na Bacia do Rio Tanjero, ressaltando a necessidade de investigações de campo complementares para confirmar a viabilidade técnica e ambiental dos locais apontados.

Conclusões

Conclui-se que, com base nesta análise preliminar utilizando o método MAUT, a Área 3 apresenta maior potencial para a implantação do aterro sanitário na Quarta Colônia, considerando fatores técnicos, ambientais, econômicos e logísticos. Para reforçar a robustez da decisão, recomenda-se a realização de estudos complementares, como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), análises hidrológicas e geotécnicas no local selecionado, bem como a reavaliação dos pesos atribuídos aos critérios, com apoio de especialistas e aplicação de métodos híbridos. A incorporação de critérios dinâmicos, sensíveis a mudanças socioambientais, e a realização de análises de sensibilidade podem contribuir para maior consistência e resiliência da decisão. Os resultados obtidos demonstram a eficácia do método MAUT na estruturação de decisões diante de múltiplas variáveis, embora análises de campo adicionais sejam recomendadas para validar as conclusões obtidas por meio do geoprocessamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo suporte institucional.

Referências Bibliográficas

Abdel-Shafy, H. I.; Mansour, M. S. M. 2018. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. Egyptian Journal of Petroleum, v. 27, p. 1275–1290.

Aramaki, R. M.; Pereira, D. P.; Santos, A. S. 2022. Técnicas de análise espacial na identificação de áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário no município de Divinópolis, Minas Gerais. Caminhos de Geografia, v. 23, p. 170–188.

Aryan, Y.; Kumar, A.; Subham; Samadder, S. R. 2023. Environmental and economic assessment of waste collection and transportation using LCA: A case study. Environmental Research, v. 231, 116108.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); 1997. Resíduos sólidos não perigosos – Aterros – Critérios para projeto, construção e operação. NBR 13896:1997. Rio de Janeiro: ABNT.

Azevedo, H. S.; Silva, T. F.; Silva, K. A; 2024. Análise da aptidão de áreas para implementação de aterro sanitário no município de Tauá (CE) com uso de SIG. Anais do 8º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis.

Cattani, Y. N.; Pontes, R. P.; Botassio, D. C.; Komesu, D. K.; Benevenuto, R. G.; Ogasavara, M. H.. 2024. Measuring the health and fiscal outcomes of solid waste management operations by intergovernmental arrangements: The case of public consortia in Brazil. Heliyon, v. 10, e26032.

Demarco, C. F.; Afonso, M. S.; Afonso, T. F.; Corrêa, É. K.; Andreazza, R. 2020. Seleção de área para implementação de aterro sanitário no município de Mostardas/RS. Anais do XI Congresso Brasileiro de Estudos Ambientais (CONRESOL), Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais – IBEAS, pp. 1–9.

Felicori, T. C.; Marques, E. A. G.; Silva, T. Q.; Porto, B. B.; Bravin, T. C.; Santos, K. M. C. 2016. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 3, p. 547-560.

Gomes, L. P.; Oliveira, M. C.; Medeiros, L. C. A. 2015. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, p. 449–462.

Jansen, S. J. T. 2011. The Multi-attribute Utility Method. *In*: Jansen, S. J. T. et al. (eds.). The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice. Springer, p. 101–115.

Karungamye, P. 2024. Energy recovery from solid waste valorisation: Environmental and economic potential for developing countries. Scientific African, v. 26, e02402.

Lino, F. A. M.; Ismail, K. A. R.; Castañeda-Ayarza, J. A. 2023. Municipal solid waste treatment in Brazil: A comprehensive review. Energy Nexus, v. 11, 100232.

Lopes, R. C. 2022. Uso de SIG na análise para implantação de aterro sanitário no município de Uberlândia – MG. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária).

Manfio, V. 2021. Quarta Colônia - RS: os diálogos entre cultura, gastronomia e turismo. Ágora (St. Cruz Sul, Online), v. 23, p. 85–98.

Morgan, R. K.; Higgins, J.; McAllister, D. 2001. Multi-Criteria Analysis in Environmental Decision-Making. Environmental Management Journal, v. 27, p. 565–580.

Nanlin, L.; Fan, L.; Hua, Z.; Liming, S.; Pinjing, H. 2023. Environmental and economic assessment of the construction, operation, and demolition of a decentralized composting facility. Science of the Total Environment, v. 884, 163724.

Nascimento, V. F.; Almeida, M. C.; Silva, R. S. 2015. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Revista Ambiente & Água, v. 10, p. 889–902.

Othman, A. A.; Obaid, A. K. 2021. Insights for landfill site selection using GIS: A case study in the Tanjero River Basin, Kurdistan Region, Iraq. Sustainability, v. 13, p. 12602.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessle (FEPAM); 2017. Diretriz Técnica nº 04: Diretriz Técnica para o Licenciamento Ambiental da Atividade de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos. Porto Alegre: FEPAM.

PRGIRS - CI/Centro. 2012. Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos municípios integrantes do consórcio intermunicipal da região centro do estado do Rio Grande do Sul v. 1 Santa Maria, RS.

Rezaeisabzevar, Y.; Bazargan, A.; Zohourian, B. 2020. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. Journal of Environmental Sciences, v. 93, p. 170–184.

Salim, H.; Jackson, M.; Stewart, R. A.; Beal, C. D. 2023. Drivers-pressures-state-impact-response of solid waste management in remote communities: A systematic and critical review. Cleaner Waste Systems, v. 4, 100078.

Senkiio, C. S.; Ramos, A. P. M.; Simões, S. J. C.; Mendes, T. S. G.; 2022. Multicriteria analysis and logistical grouping method for selecting areas to consortium landfills in Paraiba do Sul river basin, Brazil. Environmental Earth Sciences, v. 81, p. 239.

Souza, R. A.; Barbosa, M. A.; Ferreira, J. A. 2012. Análise operacional e ambiental de aterros sanitários: o caso de Chapecó (SC). Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, p. 233–240.

Weidner, T.; Graça, J.; Machado, T.; Yang, A. 2020. Comparison of local and centralized biowaste management strategies: A spatially-sensitive approach for the region of Porto. Waste Management, v. 118, p. 552–562.

Wu, T. H.; Chen, C. Y.; Huang, S. W.; Yu, T. T. 2025. An integrated decision framework for landfill mining site selection using GIS, multi-criteria analysis, and optimization models. Socio-Economic Planning Sciences, v. 91, p. 102220.

Zhang, X.; Li, Y.; Jiang, P. 2010. A comparison of multi-criteria decision analysis methods for environmental planning: application to landfill site selection. Waste Management Journal, v. 30, p. 2056–2064.

USO DA TECNOLOGIA PARA O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DO APLICATIVO "RECICLEI!"

1Amanda dos Santos Feitosa, 2João Correia Saraiva Junior, 3Rômulo Wilker Neri de Andrade

1Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal – Zona Leste, e-mail: feitosa.amanda@academico.ifrn.edu.br; 2Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central, e-mail: joao.correia@ifrn.edu.br; 3Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal – Zona Leste, e-mail: romulo_wilker@hotmail.com

Palavras-chave: Aplicativo Móvel; Catador de Material Reciclável; Coleta Seletiva.

Resumo

A geração de resíduos sólidos urbanos é um fator extremamente preocupante para uma gestão ambiental eficiente. No caso brasileiro, com o constante aumento populacional, é um dos países que mais gera resíduos sólidos (materiais, substâncias e produtos residuais). Os benefícios econômicos e de saúde pública advindos da reciclagem devem ser considerados no tratamento desses resíduos, além disso, é importante compreender como esse resíduo deve ser descartado de acordo com a legislação. Visto isso, este artigo objetiva apresentar o aplicativo denominado "Reciclei!", desenvolvido com o intuito de incentivar e facilitar o processo de coleta seletiva domiciliar em Natal-RN, bem como, colaborar com o trabalho dos catadores de resíduos recicláveis. A metodologia se baseou na modelagem da interface por meio de ferramentas de design, em seguida a codificação e prototipação do código das telas com testes em smartphones com a disponibilização do aplicativo gerado na loja de aplicativos ao finalizar os desenvolvimentos. Como resultados, obtive-se o aplicativo criado, publicado e validado com alguns usuários, a qual foi possível verificar a capacidade de simplificar a obtenção de informações sobre a separação e coleta de resíduos sólidos e aproximação com os catadores locais. No entanto, questões como a adoção por parte dos usuários e privacidade na interação entre as partes se mostraram pontos a serem analisados e aprimorados. As considerações finais apontam que o aplicativo possui grande potencial como meio de sensibilizar os usuários sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos e promover a coleta seletiva na sociedade brasileira, embora possua limitações que podem ser superadas

Introdução

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios e contribui significativamente para o aumento das desigualdades sociais, ameaçando constantemente a saúde pública e agravando a degradação ambiental, o que compromete a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos (Silva; Souza, 2023).

A falta de informação é um dos principais fatores que agravam os impactos ambientais, visto que grande parte da população desconhece que é parte integrante do meio ambiente e que, assim como os demais seres vivos, sua qualidade de vida é afetada pelos problemas ambientais (Pereira; Almeida, 2022).

O município de Natal, capital do Rio Grande do Norte (RN), em 2022, teve uma geração média diária de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de aproximadamente 780 toneladas, totalizando cerca de 284.700 toneladas anuais, conforme informações da Companhia de Serviços Urbanos de Natal (URBANA, 2023). No entanto, uma parcela significativa desses resíduos não é reciclada.

De acordo com o Sindicato das Indústrias de Reciclagem e Descartáveis do Estado do Rio Grande do Norte (SindRecicla-RN, 2024), o Estado recicla apenas cerca de 3% dos resíduos produzidos. Segundo a entidade, com esse índice, o RN deixa de arrecadar aproximadamente R$ 710 milhões por ano com a conversão de resíduos sólidos em novos produtos (G1 RN, 2024).

O avanço tecnológico e o processo de globalização possibilitaram novas formas de interação entre pessoas e entre estas e o meio ambiente. Com a ascensão da era da informação, impulsionada pela internet e dispositivos móveis, como *smartphones* e computadores, é possível abordar os desafios dos RSU sob uma perspectiva inovadora (Costa; Lima, 2023).

Considerando que um dos principais problemas da coleta seletiva residencial está na falha de integração entre gerador e catador, questiona-se a viabilidade de um aplicativo móvel que disponibilize informações sobre as etapas primárias do gerenciamento de resíduos sólidos e que permita que moradores com resíduos recicláveis acondicionados possam contatar catadores para doação do material.

Diante da dificuldade de integração entre geradores e catadores, este artigo objetiva apresentar o aplicativo denominado "Reciclei!", desenvolvido com o intuito de incentivar e facilitar o processo de coleta seletiva domiciliar em Natal-RN, bem como, colaborar com o trabalho dos catadores de resíduos recicláveis. Especificamente, busca-se apresentar as etapas de criação do aplicativo e identificar seus pontos positivos e negativos quanto à utilização e funcionalidade.

Neste contexto, um aplicativo para dispositivos móveis focado no gerenciamento dos resíduos sólidos representa uma ferramenta poderosa para promover a educação ambiental e incentivar boas práticas, contribuindo para a construção de um estilo de vida mais sustentável (Santos; Ferreira, 2023).

Referencial Teórico

Esta seção aborda os fundamentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa, contemplando resíduos sólidos, coleta seletiva, reciclagem e a aplicação de tecnologias digitais no gerenciamento desses resíduos. O objetivo é apresentar as principais teorias e práticas que embasaram a execução e discussão deste trabalho.

Resíduos Sólidos: Conceito, Classificação e Gerenciamento

Resíduos sólidos são materiais resultantes das atividades humanas, descartados em estado sólido ou semissólido, e cuja destinação final deve ser ambientalmente adequada (Brasil, 2010). Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, resíduos sólidos compreendem qualquer material, substância, objeto ou bem descartado em decorrência de atividades humanas, enquanto rejeitos são aqueles resíduos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentam alternativa viável que não a disposição final em aterro sanitário (Brasil, 2010).

A classificação dos resíduos sólidos, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004:2004, considera sua origem (doméstica, comercial, industrial, hospitalar, agrícola, entre outras) e seu potencial de risco ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT, 2004). O correto gerenciamento envolve etapas como coleta, transporte, tratamento e destinação final, priorizando o reaproveitamento e a reciclagem, em consonância com os princípios da economia circular e da sustentabilidade (Brasil, 2010).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, cada brasileiro gerou, em média, 1,05 kg de resíduos por dia, totalizando cerca de 82,5 milhões de toneladas em 2023. Apesar dos avanços, a taxa de reciclagem ainda é baixa e a erradicação dos lixões permanece como um desafio nacional (ABREMA, 2024).

A gestão de resíduos sólidos é uma responsabilidade compartilhada entre poder público, setor privado e a sociedade, exigindo planos de gestão integrada e ações de educação ambiental voltadas à não geração, redução, reutilização, reciclagem e disposição final adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). A educação ambiental, prevista no Decreto Federal nº 7.404/2010, é fundamental para promover valores e comportamentos sustentáveis, incentivando a participação social em todas as etapas da gestão (Brasil, 2010b).

Coleta Seletiva e Reciclagem

A coleta seletiva consiste na separação e recolhimento diferenciado dos resíduos recicláveis, como papel, plástico, metal e vidro, diretamente na fonte geradora (MMA, 2019). Essa prática facilita o reaproveitamento dos materiais, reduzindo o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários e promovendo a economia circular (Ferreira, 2020).

A política dos 5 Rs (repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar) orienta as ações para minimizar a geração de resíduos e maximizar o reaproveitamento de materiais (Brasil, 2010). A coleta seletiva pode ser realizada de forma domiciliar, por meio de serviços municipais, ou em pontos de entrega voluntária (PEVs), sendo fundamental para o sucesso das políticas de reciclagem (Alkmim, 2015).

Catadores de Materiais Recicláveis: Aspectos Sociais

Os catadores de materiais recicláveis desempenham papel essencial na cadeia da reciclagem no Brasil, embora estejam frequentemente submetidos a condições precárias de trabalho e vulnerabilidade social (Gonçalves-Dias; Sakurai; Ziglio, 2020). Esses profissionais são responsáveis por grande parte da triagem e encaminhamento dos resíduos recicláveis, mas enfrentam estigmatização, baixos rendimentos e riscos à saúde.

A PNRS reconhece a importância dos catadores e incentiva a criação de cooperativas e associações para fortalecer sua atuação e promover a inclusão social (Brasil, 2010). A valorização desses trabalhadores é fundamental para o avanço da reciclagem e para a promoção da justiça social no setor (Santos et al., 2016).

Tecnologias no Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

Os avanços tecnológicos têm impulsionado a modernização da gestão de resíduos sólidos. O uso de aplicativos móveis, sistemas de rastreamento e a Internet das Coisas (IoT) permitem maior controle, transparência e eficiência nos processos de coleta, triagem e destinação dos resíduos (Costa; Lima, 2023).

No Brasil, o número de smartphones ultrapassa a população, com mais de 242 milhões de dispositivos ativos em 2022 (FGV, 2022). Essa ampla conectividade favorece o desenvolvimento de soluções digitais, como aplicativos para gerenciamento de resíduos, que promovem a participação da sociedade e facilitam a integração entre geradores, catadores e o poder público.

Aplicativos como “Olha Isso, Limpinho”, “Resitrack” e “meuResíduo” já demonstram o potencial das tecnologias digitais para ampliar a eficiência da gestão de resíduos, promover a educação ambiental e incentivar a economia circular (Quadro 1).

Quadro 1 – Características dos aplicativos semelhantes.

Aplicativo	Olha isso, Limpinho2	Resitrack3	meuResíduo4
Objetivos	Ampliar os meios de interação entre a população e a Empresa Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR).	Trabalhar com o gerenciamento de resíduos que respeite as legislações ambientais e utilize os avanços tecnológicos do setor.	Permitir a informatização do gerenciamento dos resíduos sólidos.

Vantagens	Contribuição da população com a limpeza urbana da cidade, auxiliadas por registro fotográfico e geolocalização.	Empresa especializada no gerenciamento de resíduos classe I (perigosos).	Garante o rastreio de todos os passos do ciclo de vida do resíduo com evidências, da geração ao destino final, emitindo relatórios legais e administrativos.
Vínculo público ou privado	Prefeitura Municipal de João Pessoa.	Empresa privada prestadora de serviço ao setor público e privado.	Empresa privada prestadora de serviço ao setor público e privado.

Fonte: Própria autoria (2022).

Metodologia

Este trabalho iniciou-se por uma revisão bibliográfica, que permitiu coletar informações sobre gerenciamento primário de resíduos sólidos, coleta seletiva, tecnologia no cotidiano etc. Essa primeira etapa, permitiu desenvolver a base do aplicativo Reciclei!. O segundo momento se concentrou na criação e avaliação do aplicativo, apresentados a seguir.

Modelagem da Interface

Através da ferramenta Figma, desenvolveu-se os wireframes, que possibilitou mapear os cenários de utilização da aplicação de forma inicial.

Um wireframe é um documento de design de baixa fidelidade, pois não define detalhes específicos como cores. Depois que um wireframe é criado, ele é revisado e mais detalhes são adicionados, ou seja, torna-se uma maquete de maior fidelidade. Depois que o design é finalizado, ele é implementado por um desenvolvedor (Robinson, 2019).

Os principais pontos de modificação foram a simplificação da jornada do usuário e a melhoria no *design*.

Desenvolvimento do Prototipo

Para o desenvolvimento do código da aplicação, utilizou-se o Framework React Native, que permite a criação de códigos compatíveis tanto com aparelhos de sistemas operacional Android, quanto iOS. Nesse processo foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Gitpod: Editor online utilizado como ambiente de desenvolvimento integrado.
- Expo: Plataforma para desenvolvimento com aplicativo para testes no celular (Expo GO) e sistema online para lidar com a produção do arquivo que deve ser enviado para a Play Store de forma assíncrona sem a necessidade de configurações adicionais.

Avaliação do Aplicativo

Posterior as etapas de criação, o aplicativo foi disponibilizado na loja virtual de aplicativos da Google: Play Store, apenas para smartphones com sistema operacional Android.

Após o aplicativo estar disponível na plataforma Play Store e ter passado por todas as atualizações necessárias para a usabilidade total dos usuários, realizou-se uma pequena pesquisa de aceitação do aplicativo com seis pessoas residentes no Conjunto dos Garis, em Natal-RN, que aceitaram instalar o aplicativo e participar de uma entrevista (Quadro 2), em outubro de 2022.

Quadro 2 – Questões utilizadas na entrevista de aceitação do aplicativo.

	Perguntas
1.	Você sabe como funciona a coleta seletiva?
2.	Você realiza a separação dos resíduos produzidos em sua residência, com a finalidade de facilitar a coleta ou mesmo, futura reutilização?
3.	Você utilizaria um aplicativo que pudesse lhe auxiliar no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos?

Fonte: Própria autoria (2022).

Com os constantes e significativos avanços das tecnologias de dispositivos móveis há uma maior facilidade das pessoas de baixo acesso a esses recursos tecnológicos, avanços esses que permitem a velocidade da comunicação e transmissão de informações ocorram em tempo real, dessa forma, um aplicativo para smartphone é o meio que pode ser utilizado por todos, unindo a comunidade ao meio ambiente.

Resultados e Discussões

A proposta inicial do presente trabalho, foi de desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis nominado como Reciclei!, idealizado para auxiliar a população, de forma simples, a participarem ativamente do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos, com foco na coleta seletiva. Com isso, nos resultados e discussões buscou- se apresentar, no primeiro momento, as etapas de criação e desenvolvimento do aplicativo e, em seguida, discutir a importância desse aplicativo no contexto do gerenciamento.

Desenvolvimento do Aplicativo e Fluxo Geral da Aplicação

Para a criação do aplicativo Reciclei!, pensou-se na seguinte organização:

- Página Inicial: O usuário pode visualizar duas opções: 'Materiais' e 'Catadores'.
- Lista de Materiais: A lista de materiais para obter mais informações: 'Papel', 'Metal', 'Vidro' e 'Plástico'
- Informações sobre os Materiais: Derivados do material que possam ser devidamente separados e exemplos de produtos do cotidiano que se encaixam na categoria.
- Lista de Catadores: Lista de catadores locais com a opção de sugerir a adição de novos catadores por meio de um formulário online.

Resultado da Prototipação

O código desenvolvido foi testado através da aplicação Expo GO, disponível na Play Store, que permitiu obter uma interface dinâmica e funcional para o aplicativo Reciclei! (Figura 1).

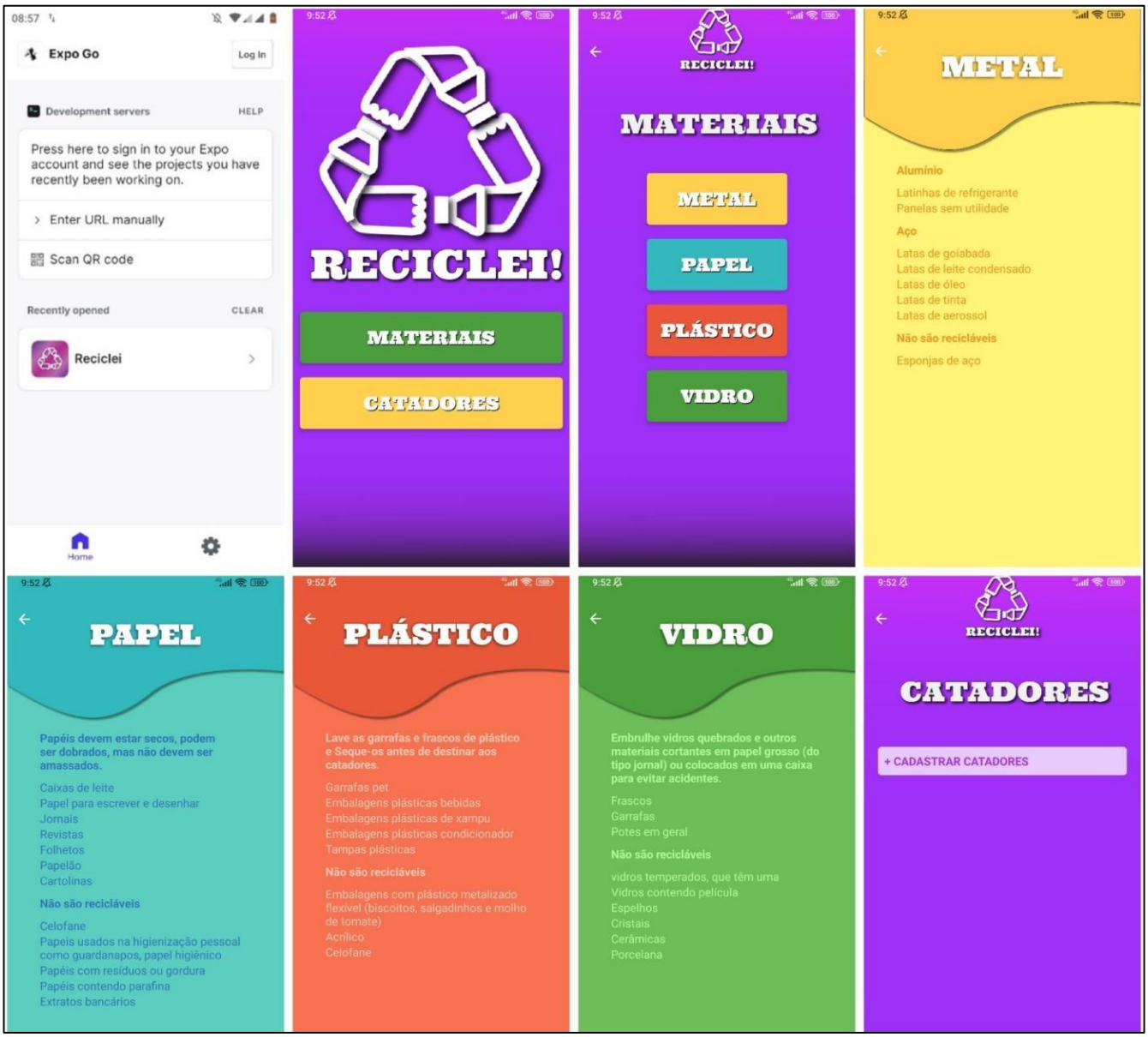


Figura 1 – Interface gráfica do aplicativo Reciclei! para o usuário.
Fonte: Própria autoria (2022).

Publicação na Play Store

Para realizar a publicação na Play Store, foi necessário criar uma conta na plataforma de desenvolvedores da Google Play, que gerencia a Play Store, o 'Play Store Console'. Essa conta é paga e necessita do preenchimento de um cadastro específico contendo informações sobre identificação (nome, sobrenome, e-mail, endereço), faturamento (dados do cartão de crédito) e acerca da presença digital (sites, redes sociais).

Após possuir a conta configurada, o aplicativo deve ser configurado. A aplicação pode ser enviada para diferentes faixas de público: teste interno, teste fechado e produção. A produção equivale ao envio para Play Store de fato, e precisa ser verificada pela Google por um mecanismo automatizado. As faixas de teste interno e fechado permitem ao desenvolvedor realizar testes com um público de controle para validação de funcionalidades.

As configurações do aplicativo na loja precisam possuir um logo, telas da aplicação, nome da aplicação e descrição. Além da definição de faixa etária e termos de uso e privacidade da aplicação. A versão de produção, por sua vez, possui anexado o arquivo 'Android App Bundle', que é o tipo de arquivo aceito pela loja onde o código, a logo e as configurações da aplicação se encontram.

Ao finalizar a execução das etapas necessárias, o aplicativo foi disponibilizado na plataforma Play Store.

Logística da Coleta de Resíduos Sólidos Por Meio do Uso do Aplicativo

Os usuários do Reciclei! ao abrirem o aplicativo se deparam com duas abas: materiais e catadores. Na primeira, são demonstrados exemplos de resíduos sólidos recicláveis que devem ser previamente segregados conforme sua composição. Ainda nesta aba, o usuário receberá orientações de manejo para higienização (quando necessário), armazenamento e acondicionamento de cada material. Vale destacar que o conteúdo desta aba pode ser acessado de modo offline, ou seja, sem conexão com a internet.

A segunda aba, catadores, é constituída pelo registro de catadores que foram previamente cadastrados e selecionados pela disponibilidade ao Aplicativo. Nela, após os resíduos serem devidamente acondicionados, o usuário pode entrar em contato com um catador para que seja realizada a coleta do resíduo reciclável.

Ao selecionar um catador, o usuário será direcionado para um link de contato aplicativo de comunicação o WhatsApp, por ser é um dos aplicativos que mais cresce entre os usuários, e pela popularidade no Brasil (Rodrigues, 2015). Essa opção, de contado entre usuários e catadores por outro aplicativo, permitiu que o Reciclei! permanecesse leve e sem a necessidade de um login ou cadastro de usuário. Após o contato, o usuário deve descrever o tipo de materiais que foram separados e a quantidade, sendo viável, um agendamento para a coleta deve ser confirmado por parte do catador.

Vale ressaltar que o lucro monetário desse processo fica com o catador, pois ele faz uso dessa atividade como fonte de renda e muito deles vivem em situação de vulnerabilidade social. Além disso, o usuário fica livre para contatar ou não um catador cadastrado no Reciclei!. Ele pode observar as orientações primárias sobre o gerenciamento dos resíduos no aplicativo e entrar em contato com um catador ou cooperativa de catadores de sua preferência.

Os dispositivos conectados à internet, favorecem a adesão ao aplicativo Reciclei! pela comunidade e, possivelmente, promoverá a sensibilização ambiental dos seus usuários.

Considerações Finais

O desenvolvimento desse trabalho teve o intuito de incentivar o descarte correto de resíduos sólidos, como também o ato da coleta seletiva por meio de aplicativo para dispositivos moveis denominado com Reciclei!, que está em pleno funcionamento e disponível para aparelhos com sistema operacional Android.

O processo de criação do aplicativo foi simplificado graças ao uso de ferramentas, permitindo uma rápida criação de telas, testes e validação das artes após o mapeamento do fluxo do usuário. Isso resultou em um desenvolvimento ágil, embora tenha havido custos de inscrição como desenvolvedor e hospedagem na Play Store, totalizando cerca de 25 dólares.

Durante a implementação, algumas dificuldades surgiram, entre elas vale ressaltar as mais relevantes: o mapeamento das telas com nível de detalhamento para sua conversão em código; o cadastramento dos catadores; e a obtenção de comentários dos usuários acerca da utilização da aplicação para melhorias.

Mesmo com as dificuldades destacadas, o aplicativo criado mostrou ser uma solução leve no gerenciamento primário dos resíduos sólidos, permitindo orientar o usuário de modo lúdico e conectar o gerador a comunidade de catadores de sua região, utilizando mecanismos de comunicação já integrados ao seu cotidiano.

Ainda assim, é necessário reconhecer que o aplicativo deve ser atualizado, com a adição de um chat e identificação entre usuários e catadores durante a coleta, por exemplo. O Reciclei! possui limitações que exigem um pouco mais de tempo e trabalho para atingir melhorias relevantes.

Neste contexto, o aplicativo, mesmo com suas limitações, mostrou ter muito potencial, pois cumpre funções sociais e ambientais que são promovidas pela legislação ambiental vigente. Como também, dá importância e valoriza as atividades exercidas por catadores de materiais recicláveis.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em: 28 maio 2025.

ALKMIM, M. M. Coleta seletiva: desafios e perspectivas para a gestão municipal. **Revista Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 112-125, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 ago. 2010.

BRASILb. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 dez. 2010.

COSTA, M. R.; LIMA, F. S. Tecnologias digitais e sustentabilidade: desafios e oportunidades no gerenciamento de resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 45-60, 2023.

COSTA, M. R.; LIMA, F. S. Tecnologias digitais e sustentabilidade: desafios e oportunidades no gerenciamento de resíduos sólidos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 45-60, 2023.

FERREIRA, J. S. **Gestão de resíduos sólidos urbanos:** desafios e soluções. São Paulo: Editora Ambiental, 2020.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. **Pesquisa sobre o uso de TIC no Brasil**. Disponível em: https://portal.fgv.br. Acesso em: 28 maio 2025.

G1 RN. **RN recicla apenas 3% dos resíduos sólidos e perde R$ 710 milhões por ano, diz sindicato**. Disponível em: https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2024/02/15/rn-recicla-apenas-3-dos-residuos-soldos-e-perde-r-710-milhoes-por-ano-diz-sindicato.ghtml. Acesso em: 28 maio 2025.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; SAKURAI, R.; ZIGLIO, C. Catadores de materiais recicláveis: vulnerabilidade social e desafios para a inclusão. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, n. 2, p. 341-357, 2020.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Coleta seletiva: guia para implantação**. Brasília: MMA, 2019.

PEREIRA, L. M.; ALMEIDA, R. S. Educação ambiental e participação social no manejo de resíduos sólidos urbanos. **Cadernos de Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 112-128, 2022.

ROBINSON, A. **Sketch2code:** Generating a website from a paper mockup. 2018. Monografia (Bacharelado em Ciências) – Department of Computer Science, University of Bristol, Bristol-UK, 2018. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1905.13750. Acesso em: 25 jan. 2023.

RODRIGUES, T. A utilização do aplicativo WhatsApp por professores em suas práticas pedagógicas. In: Colóquio Internacional de Educação com Tecnologia, 2, e Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação, 4, 2015, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 2015. Disponível em: https://docplayer.com.br/20291320-A-utilizacao-do-aplicativo-whatsapp-por-professores-em-suas-praticas-pedagogicas.html. Acesso em: 12 jan. 2023.

SANTOS, A. P. et al. A importância dos catadores na cadeia da reciclagem. **Revista de Políticas Públicas**, v. 20, n. 1, p. 89-101, 2016.

SANTOS, A. P.; FERREIRA, D. A. Aplicativos móveis e educação ambiental: ferramentas para a sustentabilidade urbana. **Revista de Tecnologia e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 78-90, 2023.

SILVA, J. R.; SOUZA, M. F. Impactos sociais e ambientais do manejo inadequado de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Saúde Pública**, v. 57, p. 1-10, 2023.

SINDRECICLA-RN. Sindicato das Indústrias de Reciclagem e Descartáveis do Estado do Rio Grande do Norte. **Relatório anual de reciclagem 2024**. Natal, 2024. Disponível em: https://www.sindrecicla-rn.org.br. Acesso em: 28 maio 2025.

URBANA. Companhia de Serviços Urbanos de Natal. **Relatório anual de resíduos sólidos urbanos 2023**. Natal, 2023.

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM UMA ESCOLA PÚBLICA DE SANTARÉM - PA

1Nathália da Silva Castro, 2Acsa da Costa Silva, 3Silvia Leticia Feitosa da Silva, 4Maxan Cassia Castro da Silva, 5Rogério Ribeiro de Souza, 6Amanda Estefânia de Melo Ferreira

1 Escola Álvaro Adolfo da Silveira, e-mail: nathaliaacastro22@gnail.com ; 2 Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), e-mail: acsacosi@gmail.com; ³ UFOPA, e-mail: leticiafeitosasilva138@gmail.com; 4 UFOPA, e-mail: maxancassia15 @gmail.com; 5 Escola Estadual Álvaro Adolfo da Silveira, e-mail: rogerio.souza@escola.seduc.pa.gov.br; 6UFOPA – Instituto de Formação Interdisciplinar e Intercultural – IFII, Grupo de Estudos e Atividades Socioambientais – GEASA, e-mail: amanda.ferreira@ufopa.edu.br.

Palavras-chave: Lixo, resíduos sólidos, educação ambiental, composição gravimétrica de resíduos.

Resumo

A geração de resíduos sólidos urbanos cresce demasiadamente e é um problema socioambiental. As escolas, são ambientes que exemplificam a geração de resíduos gerados nas cidades, além de serem lugares úteis ao aprendizado e formação cidadã. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar a composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos gerados em uma escola pública de Santarém-PA, visando identificar as principais frações de resíduos e propor estratégias para o aprimoramento do gerenciamento desses materiais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a formação de cidadãos conscientes. A coleta de dados foi realizada no período de 9 a 13 de dezembro de 2024, e teve como metodologia o estudo gravimétrico, com a separação de resíduos e estudo da proporção (em porcentagem) de cada resíduo gerado na escola. O peso total dos resíduos gerados ao longo do período de estudo foi de 39 kg. Os resíduos foram classificados a NBR 10.004/2024, predominando resíduos de Classe II, incluindo papel, misto, têxtil e borracha, como plástico, rejeito, metal e vidro. Destaca-se também a presença de resíduos Classe I (perigosos e sujeitos à logística reversa), exigindo manejo especializado. A composição gravimétrica indicou predominância de papel 27,02% , plásticos 26,88% com um total de 53% de materiais recicláveis, e orgânicos 24,96%. Os resíduos perigosos representaram uma fração minoritária, mas de relevância quanto ao seu potencial impacto ambiental. O peso específico médio dos resíduos sólidos foi de 11,085 kg/m³. O desvio padrão médio foi de 7,24 kg/m³, com erro padrão de 3,22 indicando relativa homogeneidade na densidade dos resíduos ao longo do período. A geração de resíduos verdes foi de aproximadamente 190 kg, representando uma fração significativa, com potencial para compostagem e reaproveitamento como insumo para jardinagem. Esses resultados demonstram a necessidade de aprimoramento na segregação e no gerenciamento dos resíduos, visando à redução dos impactos ambientais e à promoção de práticas sustentáveis no ambiente escolar.

1- Introdução

A gestão adequada dos resíduos sólidos é um dos principais desafios enfrentados pelas sociedades contemporâneas, especialmente em ambientes urbanos e institucionais. No contexto brasileiro, a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da Lei nº 12.305/2010 estabeleceu diretrizes para o manejo integrado e sustentável dos resíduos, enfatizando a responsabilidade compartilhada e a necessidade de ações educativas (BRASIL, 2010).

Segundo Silva et al. (2017), a escola, enquanto espaço formador, deve assumir um papel ativo na construção de práticas sustentáveis, promovendo o envolvimento da comunidade escolar na gestão dos resíduos que produz. Estudos têm evidenciado que a caracterização dos resíduos gerados nesses ambientes é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gerenciamento e para a promoção da conscientização ambiental entre estudantes e funcionários (ASSIS; SANTOS, 2020).

Em Santarém-PA, pesquisas anteriores identificaram que uma escola pública gera, em média, 10,1 kg de resíduos sólidos por dia, com predominância de materiais recicláveis como papel e plástico. No entanto, observou-se a ausência de práticas adequadas de segregação e armazenamento, indicando falhas no sistema de gerenciamento de resíduos (ASSIS; SANTOS, 2020).

Além disso, a análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em outras regiões, como Manaus–AM, revelou que uma parcela significativa dos resíduos é composta por materiais recicláveis, destacando a importância de políticas públicas voltadas para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos (RODRIGUES et al., 2023).

Os estudos gravimétricos e de peso específico de resíduos sólidos são essenciais para auxiliar na tomada de decisão na gestão destes, assim como para definir políticas e programas de educação ambiental no contexto escolar. Desde modo, este estudo visa analisar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados em uma escola pública de Santarém-PA, visando identificar as principais frações de resíduos e propor estratégias para o aprimoramento do gerenciamento desses materiais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a formação de cidadãos conscientes.

2- Materiais e métodos

O presente trabalho foi realizado no município de Santarém – PA, mais especificamente na Escola Estadual de Ensino Médio Álvaro Adolfo da Silveira, inaugurada no ano de 1962, que desde então atendeu alunos no fundamental, colegial e o

magistério até meados dos anos 2000. Atualmente opera na formação de alunos de ensino médio de primeiro, segundo e terceiro ano, nos turnos matutino e vespertino, em pleno funcionamento com 36 turmas e 1.400 alunos regularmente matriculados no educandário.

A coleta de dados para o estudo foi realizada no período de 9 a 13 de dezembro do ano de 2024, a cada dia duas coletas nos turnos da manhã e tarde respectivamente, totalizando dez coletas ao longo da semana. Em cada dia, os resíduos produzidos durante um turno completo de aulas foram coletados e armazenados em recipientes apropriados (sacos plásticos). A coleta foi realizada conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 10007:2004, que trata da amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

A gravimetria trata-se da separação e pesagem dos resíduos para caracterização dos mesmos. Para isso foi utilizado alguns instrumentos, tais como recipientes (baldes) de volume conhecido e balança. ao final de cada coleta, o material foi transportado para um local que possibilitou a pesagem em sua totalidade e segregação dos diferentes componentes nas seguintes categorias: a) plástico (sacolas, copos, garrafas, embalagens, etc.); b) Papel/Papelão; c) Metal (latinhas de refrigerante); d) Resíduos orgânicos (podas de árvores) e) Outros/rejeitos (figura 1A e 1B). Essa etapa seguiu as orientações da NBR 10004:2024, que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT, 2024). Para manipulação dos resíduos coletados foram utilizados EPI's e sacos plásticos adequados.



Figura 1A e 1B: separação dos resíduos coletados na escola
Fonte: acervo pessoal, 2025.

Posteriormente a essa etapa foram definidas as características físicas, objeto do presente estudo, sendo elas: composição gravimétrica e peso específico. A composição apresenta as porcentagens das várias frações que compõem os resíduos e o peso específico (expresso em kg/m³) representa o volume que determinada massa de resíduos ocupa.

Após todas as etapas foi realizada a classificação dos resíduos com base na norma legal NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que trata da classificação de resíduos. Para o peso análise de peso específico os resíduos eram pesados em recipientes de volume conhecido até preencher o recipiente e sem exercer pressão.

2.1 - Análise de resultados

Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva, utilizando-se medidas de tendência central e dispersão para interpretar a composição dos resíduos. Tal abordagem permitiu compreender a geração de resíduos na escola e identificar oportunidades para a implementação de práticas de gestão e educação ambiental mais eficazes (REIS. E & REIS.I, 2002).As equações apresentadas no Quadro 1 foram empregadas para a análise quantitativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos, conforme metodologia proposta por Barros (2012) e adaptada pelo Instituto de Cidades Sustentáveis (2023).

Quadro 1 – Equações utilizadas na avaliação quantitativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados em uma escola pública no município de Santarém–PA

Equação	Fórmula	Descrição
Equação 1	Pm = Pt - Pr	Peso do material (kg) = Peso total (kg) - Peso do recipiente (kg)
Equação 2	Dm = Pl / Vr	Densidade do material (kg/m³) = Peso líquido (kg) / Volume do recipiente (m³)
Equação 3	% M = (Pm / Σ Prs) × 100	Porcentagem gravimétrica do material = Peso do material / Soma dos pesos de todos os resíduos × 100
Equação 4	Gpc = Qt / Nu	Geração per capita de resíduos (kg/usuário) = Quantidade total de resíduos / Número de usuários

Fonte: Elaborado pelos autores

3 - Resultados e Discussão

3.1 Composição gravimétrica e Classificação Total dos Resíduos (kg)

Durante os días amostrados, foram gerados 39,082 kg de resíduos sólidos na escola analisada. A distribuição dos resíduos indica predominância de orgânico, papel, plástico, orgânicos e rejeito (figura 01).

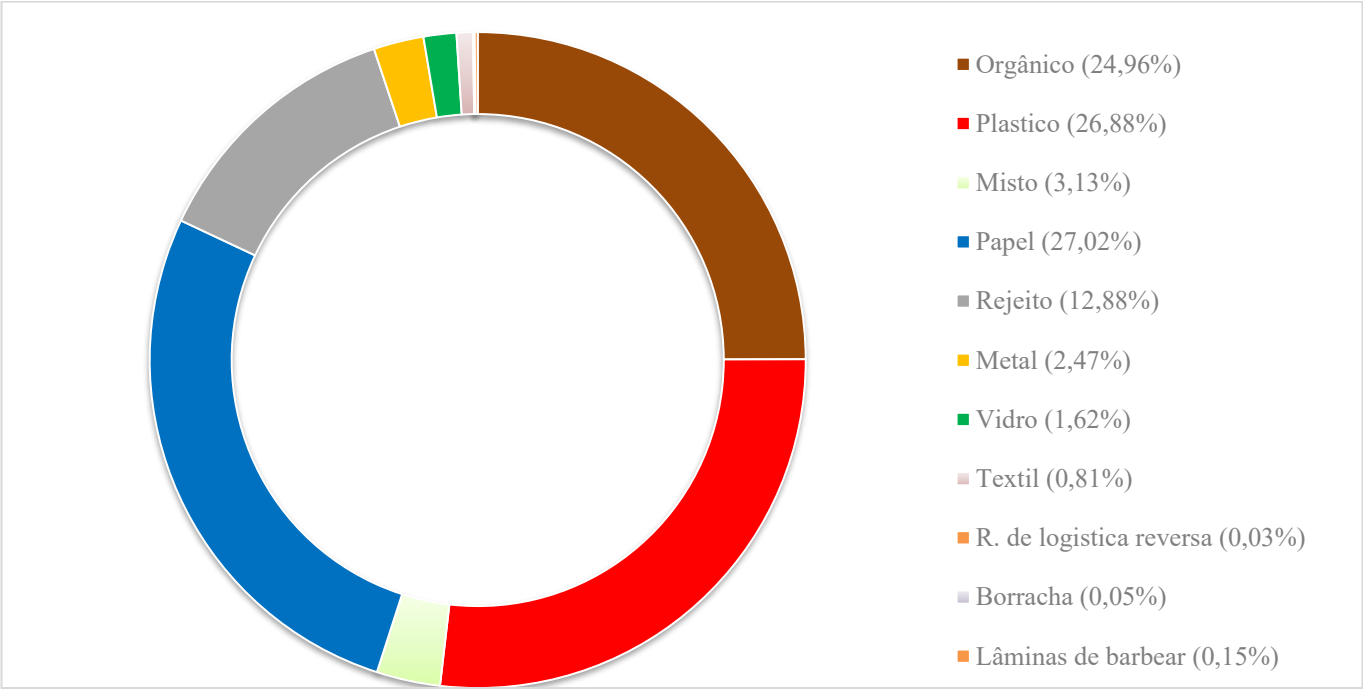


Figura 01 – Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos gerados na Escola Estadual de Ensino Médio Álvaro Adolfo da Silveira.

O estudo gravimétrico na escola, mostra os resíduos gerados em maior proporção são: papel (27,02%), plástico (26,88%), matéria orgânica (24,96%) e rejeito (12,88%). As demais categorias inferiores a 3,13% conforme pode ser visto na figura 01. Estudos realizados por Lima et al. (2017), em escolas públicas e privadas em Buriticupu – MA, mostraram composição gravimétrica similar, porém, com maior geração para plástico 57,72%, papel 18,60% e papelão 14,13%. Já em um estudo realizado com escolas em área rural e urbana do municipio de Uruará – PA, apesentou a maior geração de resíduos nas áreas urbanas: papel/papelão (40%), plásticos (30%), metal (10%) e matéria orgânica (18%) (Cajaiba e Correio, 2016).

De acordo com classificação Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 10.004/2024, os resíduos encontrados na escola são em sua grande maioria resíduos não perigosos de classe II, com destaque apenas para os resíduos de logística reversa e lâminas de barbear classificadas como resíduo de classe I – perigoso, por apresentar potencial de causar um efeito adverso à saúde humana e/ou ao meio ambiente, uma vez que possui uma ou mais característica(s) de periculosidade (ABNT, 2024).

Em estudo realizado por Assis e Santos (2020) em uma escola pública de Santarém–PA, foi constatada uma geração diária de 10,1 kg de resíduos, com predominância de papel e plástico, totalizando 52,7% de materiais recicláveis. Esses resultados são consistentes com os dados atuais, reforçando a necessidade de implementação de programas de coleta seletiva e educação ambiental nas escolas da região.

Este padrão é consistente com estudos realizados em instituições de ensino no Brasil, como os de Silva et al. (2021) em escolas públicas do sudeste, que também apontaram os resíduos orgânicos e papel como frações predominantes. Na região Norte, Costa et al. (2020) avaliaram a geração de resíduos sólidos em escolas do Amapá e identificaram composição semelhante, com

destaque para papel (32%) e resíduos orgânicos (30%).

A presença de resíduos classificados como Classe II tais como os mistos (3,13%), borracha (0,049%) e rejeitos (12,88%), totalizando 16,06%, revela a necessidade de maior conscientização sobre o consumo de materiais não recicláveis e a implementação de alternativas mais sustentáveis.

Por outro lado, Os resíduos perigosos (0,148%), apesar de pouco expressivos, merecem atenção, pois mesmo em pequenas quantidades podem representar riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Já os resíduos de logística reversa (0,033%), como pilhas ou eletrônicos, evidenciam uma oportunidade de melhoria na gestão escolar para o correto descarte desses materiais.

3.2 Determinação do Peso Específico dos Resíduos Sólidos

O peso específico médio dos resíduos sólidos nos dois dias analisados foi de 11,085 kg/m³. O desvio padrão elevado em ambos os dias (cerca de 7 kg/m³) e o erro padrão significativo (~3,2 kg/m³) indicam uma grande heterogeneidade nos resíduos coletados. Os autores Costa *et al.* (2023) encontraram peso específico médio entre 8 a 15 kg/m³, o que aponta similaridade com os valores encontrados neste estudo, reforçando a tendência de resíduos predominantemente secos e pouco compactados em escolas da região Norte.

Já Silva *et al.* (2022) identificaram variação de peso específico entre 10 e 20 kg/m³ em coletas realizadas em 5 dias em escolas de Santarém-PA. Destacaram como principal fator de variação o descarte inadequado de resíduos alimentares misturados a recicláveis. González *et al.* (2021) demonstram outro estudo realizado em uma escola no México também com coletas durante 5 dias revelou peso específico médio de 12,5 kg/m³, apontando similaridade nos padrões de resíduos, compostos majoritariamente por papel e embalagens. Já Smith *et al.* (2020) destacam que em escolas canadenses, a média foi de 9 kg/m³, também com coleta de 5 dias. Destacaram menor volume de resíduos alimentares em relação a países tropicais, influenciando na menor densidade.

3.3 Caracterização dos Resíduos Verdes: Poda e Varrição

Além dos resíduos estudados e apresentados, durante os dias de monitoramento, foi registrada uma geração total de 190.270 kg de resíduos provenientes de folhas oriundas da poda de árvores e varrição no ambiente escolar. De acordo com Couto *et al.* (2019), resíduos como folhas, representam uma fração significativa nos resíduos sólidos urbanos (RSU) em cidades amazônicas, devido à densa arborização e à presença de espécies que perdem folhas sazonalmente. O estudo aponta que resíduos verdes podem corresponder a até 25% do total de resíduos sólidos orgânicos urbanos.

De acordo com estudo realizado por Souza *et al.* (2020) sobre a gestão de resíduos verdes em municípios de médio porte da região Norte, a geração média de resíduos de poda e varrição pode variar entre 20 a 50 kg por dia em ambientes escolares, dependendo da arborização do espaço e da frequência das atividades de manutenção.

Em escolas públicas de Manaus-AM, Carvalho *et al.* (2019) identificaram que os resíduos provenientes de poda e varrição representam cerca de 25% dos resíduos sólidos gerados, com uma média diária de 30 kg por unidade escolar.

Portanto, a geração de aproximadamente 190 kg de folhas com a média de 27,2 kg em apenas cinco dias nesta escola pública é compatível com o perfil de escolas situadas em regiões de elevada cobertura vegetal, como Santarém.

Na cidade de Macapá-AP, estudo realizado por Costa *et al.* (2021) verificou que resíduos de poda e varrição representam até 35% do total de resíduos sólidos urbanos coletados, evidenciando a importância da gestão específica desse tipo de resíduo. A geração média, entretanto, não ultrapassou 40 kg por dia em ambientes institucionais.

Em Belém-PA, o levantamento da Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN) (2022) revelou que resíduos de poda correspondem a 18% do total coletado nos serviços públicos de limpeza urbana, mas destacou-se a carência de destinação adequada para esses materiais, com parte enviada para aterros sanitários, contrariando princípios de sustentabilidade.

Em Santarém-PA, conforme Assis e Santos (2020), a composição dos resíduos escolares é dominada por resíduos orgânicos alimentares, mas há forte presença de resíduos verdes em escolas com áreas arborizadas, como jardins e pátios extensos, comuns na região amazônica.

Considerações finais

A análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados em uma escola pública de Santarém-PA revelou que as frações predominantes são os resíduos orgânicos e os materiais recicláveis, como papel e plástico. Esta predominância está alinhada ao perfil de atividades escolares. Observou-se a presença de resíduos mistos, o que dificulta o reaproveitamento e aumenta a necessidade de destinação em aterros sanitários. Além disso, a presença de resíduos classificados como perigosos e logística reversa (Classe I), embora em menor proporção, requer atenção especial quanto ao manejo e disposição final, para evitar riscos ambientais e à saúde. Assim, recomenda-se a implementação de um programa de educação ambiental junto à comunidade escolar, focado na correta separação e destinação dos resíduos, bem como a instalação de coletores específicos para as diferentes frações, especialmente para resíduos recicláveis e perigosos. Tais medidas podem potencializar a redução do volume de resíduos enviados a aterros, promover a reciclagem e a compostagem dos resíduos orgânicos, além de contribuir para a formação de uma cultura escolar mais sustentável e comprometida com a preservação ambiental.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a EEEM Álvaro Adolfo Da Silveira e ao Grupo de Estudos e Atividades Socioambientais – GEASA – UFOPA, por toda contribuição fornecida.

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: 15 maio 2025.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSIS, E. C. de S.; SANTOS, J. N. dos**.** Estudo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos de uma escola pública do município de Santarém-PA. ***Revista Monografias Ambientais***, v. 19, p. 1–21, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/45256. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

CAJAIBA, R. L.; CORREIO, W. B. da S. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de escolas públicas da zona urbana e rural do município de Uruará, PA. ***SaBios: Revista de Saúde e Biologia***, v. 11, n. 2, p. 01–06, maio/ago. 2016.

CARVALHO, M. S.; SILVA, J. P. Geração e destinação de resíduos de poda e varrição em escolas públicas de Manaus-AM. ***Revista Amazônia, Ciência & Desenvolvimento***, v. 5, n. 1, p. 45–58, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/rcd/article/view/1432. Acesso em: 21 maio 2025.

COSTA, A. C.; FERREIRA, R. P. Resíduos sólidos urbanos: estudo sobre a geração de resíduos de poda e varrição na cidade de Macapá-AP. ***Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável***, v. 3, n. 4, p. 320–334, 2021. Disponível em: https://revista.univap.br/index.php/RBDS/article/view/433. Acesso em: 21 maio 2025.

COSTA, R. L. et al. Caracterização dos resíduos sólidos gerados em escolas públicas no Pará. ***Revista Brasileira de Gestão Ambiental*****,** 2023. Disponível em: https://www.rbga.org.br/artigo/caracterizacao-residuos-escolas-para. Acesso em: 21 maio 2025.

COUTO, R. C. et al. Gestão de resíduos verdes em cidades amazônicas: desafios e oportunidades. ***Revista Brasileira de Ciências Ambientais***, v. 54, n. 1, p. 45–57, 2019. https://doi.org/10.5327/Z2176-94782019163. Acesso em: 21 maio 2025.

FERREIRA, P.; ROCHA, S.; SOUZA, M. Aspectos históricos da formação de professores primários em Santarém no século XX: o legado das escolas Álvaro Adolfo da Silveira, Santa Clara e São José. ***Revista HISTEDBR On-line***, n. 62, p. 167–184, 2015.

GONZÁLEZ, R. et al. Waste characterization in public schools in Mexico City. ***Journal of Waste Management***, 2021. Disponível em: https://www.jwm.org/articles/waste-schools-mexico. Acesso em: 21 maio 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Portal de mapas. Disponível em: https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage. Acesso em: 29 abr. 2025.

MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

REIS, E. A.; REIS, I. A**.** Análise descritiva de dados. Belo Horizonte: Departamento de Estatística da UFMG, 2002.

RODRIGUES, M. A.; ISMAIL, K. A. R.; LINO, F. A. M. Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Manaus – AM. ***Revista Foco*****,** v. 16, n. 6, p. 1–27, 2023.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO – SESAN. Relatório de gestão de resíduos de poda e varrição em Belém-PA. Belém, 2022. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/sesan/relatorio-2022. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, C. C. et al. Gestão de resíduos sólidos nas escolas: desafios e possibilidades. ***Revista Ambiente & Educação***, v. 22, n. 2, p. 56–72, 2017.

SILVA, M. A.; ARAÚJO, J. P**.** Geração e caracterização de resíduos sólidos em escolas públicas da Amazônia. *Revista Amazônica de Ciências Ambientais*, 2022. Disponível em: https://www.raca.org.br/artigo/geracao-residuos-escolas-amazonia. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, M. L.; SILVEIRA, A. L. Panorama da gestão dos resíduos sólidos na região Sudeste do Brasil: mais de uma década de descarte. In: *XIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 2022. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2022/III-026.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

SILVA, M. M. P.; LEITE, V. D. Caracterização de resíduos sólidos em uma escola pública municipal da cidade de Campina Grande. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21., João Pessoa, 2001. Acesso em: 20 maio 2025.

SMITH, L. et al. Solid waste generation in elementary schools: a case study in Canada. *Waste Management & Research*, 2020. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X20915265. Acesso em: 21 maio 2025.

SOUZA, L. F.; ARAÚJO, R. T. Gestão de resíduos verdes em municípios amazônicos: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 204–219, 2020. Disponível em: https://rbga.org.br/ojs/index.php/RBGA/article/view/789. Acesso em: 21 maio 2025.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Saneamento: Planejamento, Políticas Públicas, Legislação e Meio Ambiente

8º SSS

IMPACTOS LEGISLATIVOS E TRIBUTÁRIOS SOBRE O SETOR DE SANEAMENTO NO BRASIL

1Juliana Fernandes Farias.
1Universidade Veiga de Almeida, e-mail: 1240118452@veigadealmeida.edu.br.

Palavras-chave: financiamento público; tarifa social; reforma tributária.

Resumo

O acesso universal ao saneamento básico é um direito humano fundamental, reconhecido tanto em âmbito internacional quanto pela legislação brasileira. Este estudo analisa os impactos da recente reforma tributária e dos instrumentos legislativos correlatos sobre o setor de saneamento, com ênfase na universalização dos serviços e na sustentabilidade financeira dos prestadores. A pesquisa discute a criação da Conta de Universalização da Água, as proposições legislativas em tramitação e os efeitos da Emenda Constitucional nº 132/2023, sob as perspectivas econômica, social, jurídica e institucional. A análise evidencia desafios relacionados à manutenção de tarifas acessíveis, proteção dos subsídios sociais e regulamentação do novo modelo tributário, destacando a necessidade de mecanismos eficazes para assegurar inclusão social e investimentos estratégicos. Conclui-se que o avanço do saneamento básico no Brasil depende da articulação integrada entre política tributária, financiamento público e proteção dos direitos sociais.

Introdução

O acesso universal ao saneamento básico é reconhecido como um direito humano fundamental pela Resolução 64/292 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2010), e é uma condição indispensável para o progresso social, econômico e ambiental. Esta afirmação, que reflete uma crescente conscientização global e nacional, encontra respaldo em marcos legais, estudos de impacto e na própria vivência das comunidades. A garantia de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais transcende a mera infraestrutura, configurando-se como um pilar para a dignidade humana e a sustentabilidade do planeta.

No Brasil, a legislação tem avançado no reconhecimento do saneamento como um direito essencial. A Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e a Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento, reforçam a responsabilidade do poder público em universalizar o acesso a esses serviços. Iniciativas legislativas de Propostas de Emenda à Constituição, como a PEC 2/2016 (Brasil, 2016), buscam inscrever explicitamente o saneamento básico no rol dos direitos sociais fundamentais, alinhando-se ao princípio da dignidade da pessoa humana, já consagrado no artigo 5º da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

Tais instrumentos refletem a intrínseca relação entre saneamento básico e desenvolvimento humano. Segundo estudo do Instituto Trata Brasil (ITB,2025), a ausência de condições sanitárias adequadas é um dos principais responsáveis pelas doenças de veiculação hídrica, também conhecidas como doenças resultantes do saneamento ambiental inadequado (DRSAI), como diarreia, hepatite A, leptospirose e parasitoses, impactando diretamente a saúde da população, especialmente crianças e idosos. A melhoria do saneamento resulta na redução da mortalidade infantil, no aumento da expectativa de vida e na diminuição da sobrecarga nos sistemas de saúde. Além disso, o acesso a banheiros e água limpa nas escolas contribui para a melhoria do desempenho educacional e para a redução do absenteísmo, principalmente entre meninas (ITB, 2024). Economicamente, o saneamento impulsiona a produtividade, valoriza imóveis e fomenta o turismo.

Do ponto de vista ambiental, o saneamento básico desempenha um papel fundamental na preservação dos ecossistemas. A coleta e o tratamento adequados do esgoto evitam a contaminação de rios, lagos, lençóis freáticos e do solo, protegendo a biodiversidade aquática e terrestre (ITB, 2022). O manejo correto dos resíduos sólidos minimiza a poluição, reduz a emissão de gases de efeito estufa provenientes de lixões e aterros inadequados, e promove a economia circular através da reciclagem e compostagem (ITB, 2022). A drenagem eficiente das águas pluviais previne enchentes e os consequentes danos materiais e ambientais (ITB, 2022).

Em suma, investir em saneamento básico é investir em saúde pública, em dignidade, em inclusão social, em educação, em produtividade e na proteção do meio ambiente. É um passo fundamental para a construção de sociedades mais justas, saudáveis e sustentáveis, onde o bem-estar humano e a integridade ambiental caminham lado a lado. Apesar dos avanços legislativos recentes, como o Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), o Brasil enfrenta desafios significativos para atingir a universalização dos serviços até 2033.

Dado o exposto, este artigo investiga três frentes que incidem diretamente sobre essa agenda:

(i) a proposta de criação de um fundo nacional, a Conta de Universalização da Água;
(ii) os projetos de lei em tramitação que tratam da estrutura e financiamento do setor; e
(iii) os efeitos da Reforma Tributária promulgada pela Emenda Constitucional nº 132/2023.

Metodologia

Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa e exploratória, considerada adequada para investigar fenômenos complexos e em constante transformação, como os impactos normativos e institucionais sobre o setor de saneamento básico no

Brasil (Gil, 2008). O método qualitativo permite uma compreensão aprofundada dos contextos sociais, políticos e econômicos envolvidos, bem como das interpretações e significados atribuídos às normas e políticas públicas (Minayo, 2017).

A coleta de dados baseou-se em revisão documental e legislativa, com foco na análise de proposições em tramitação nas plataformas oficiais do Congresso Nacional, incluindo a Câmara dos Deputados e o Senado Federal. Para a seleção das proposições, foram adotados como critérios a relevância temática, a atualidade e o potencial impacto sobre o setor de saneamento, especialmente em aspectos relacionados à regulação, ao financiamento e à universalização dos serviços. A revisão documental constitui um procedimento fundamental em pesquisas qualitativas, por possibilitar a sistematização e a análise crítica de documentos oficiais, essenciais à compreensão das políticas públicas (Bowen, 2009).

Adicionalmente, foi realizada a interpretação de dispositivos constitucionais e infraconstitucionais relacionados ao saneamento básico, com especial atenção às mudanças advindas da recente reforma tributária e à criação de novos mecanismos de financiamento setorial. A análise documental seguiu os princípios da análise de conteúdo qualitativa, que permite a categorização temática e a identificação de padrões e tendências nos documentos examinados (Franco, 2021).

Essa estratégia metodológica integrada possibilita articular diferentes fontes normativas e institucionais, promovendo uma leitura crítica da conjuntura legislativa e regulatória vigente. Assim, busca-se não apenas descrever o cenário normativo, mas também compreender suas implicações para a gestão pública, a sustentabilidade e a inclusão social no setor de saneamento, com atenção especial às desigualdades estruturais que marcam os territórios vulneráveis (Carneiro, 2011). A literatura sobre infraestrutura evidencia que os investimentos nesse campo são essenciais para a redução da pobreza e para a promoção do desenvolvimento socioeconômico em larga escala (Contani & Savoia, 2017). Nesse sentido, a reforma tributária e os novos instrumentos de financiamento devem ser analisados à luz de sua capacidade de ampliar o acesso equitativo aos serviços de saneamento, especialmente por meio de mecanismos como a tarifa social, voltados à garantia da universalização em áreas historicamente marginalizadas.

A Conta de Universalização da Água

A promoção da equidade no acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em regiões com baixa atratividade econômica exige o desenvolvimento de instrumentos financeiros robustos e eficazes. Nesse sentido, a Lei nº 14.898/2024 (Brasil, 2024) propõe a criação da Conta de Universalização da Água, inspirada em modelos como a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), como mecanismo voltado ao financiamento da expansão e manutenção dos serviços em áreas vulneráveis.

O Decreto nº 11.598/2023 (Brasil, 2023) complementa essa diretriz ao estabelecer metodologia específica para comprovação da capacidade econômico-financeira dos prestadores de serviço, critério essencial para garantir a sustentabilidade das operações e a implementação de metas de universalização. As fontes potenciais de financiamento da Conta incluem outorgas de concessão, contribuições específicas, repasses da União e transferências voluntárias. Os recursos captados devem ser destinados, prioritariamente, a subsídios tarifários, investimentos em infraestrutura em comunidades de baixa renda e ao fortalecimento institucional de operadores locais.

A efetividade de instrumentos como a tarifa social de água depende de fatores estruturais e operacionais. Conforme análise da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025), os principais desafios envolvem garantir que os subsídios atinjam os beneficiários corretos, sem comprometer a sustentabilidade econômico-financeira dos prestadores. Estudos internacionais também apontam a necessidade de clareza nos mandatos legais e nas obrigações de desempenho impostas aos operadores (Pories et al., 2019), além da adoção de práticas que evitem distorções de mercado e maximizem o impacto social dos investimentos.

A literatura especializada reforça que uma gestão financeira e operacional sólida, combinada com planejamento estratégico e fortalecimento da capacidade institucional, é fundamental para que os prestadores de serviços operem de maneira eficiente e sustentável, ampliando assim o alcance das políticas públicas de saneamento (Pories et al., 2019).

Projetos de Lei em Tramitação

A tramitação de proposições legislativas no Congresso Nacional reflete os desafios e as disputas em torno da implementação do novo marco legal do saneamento básico. A análise qualitativa dos projetos revisados revela três tendências principais: a ampliação das competências dos prestadores de serviços, a criação de novos instrumentos de financiamento e a tentativa de flexibilização dos prazos para cumprimento das metas de universalização.

O Projeto de Lei nº 3.772/2024 (Brasil, 2024) propõe a integração dos serviços de drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos ao rol de serviços públicos obrigatórios previstos na Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007). Embora possa representar um avanço na perspectiva de gestão integrada, essa ampliação de escopo também acarreta aumento significativo dos custos operacionais, o que pode impactar a viabilidade financeira de pequenos e médios prestadores de serviço.

Já o Projeto de Lei nº 403/2024 (Brasil, 2024) trata da destinação de recursos oriundos de outorgas de concessão ao financiamento de ações de universalização do acesso ao saneamento. Essa proposta representa um passo importante para a viabilização da Conta de Universalização da Água, prevista na Lei nº 14.898/2024 (Brasil, 2024), ao estabelecer um fluxo financeiro regular e vinculado à atividade regulada.

Em contraponto às iniciativas de fortalecimento do marco regulatório, o Projeto de Lei nº 4.888/2024 (Brasil, 2024) propõe a prorrogação dos prazos legais para o cumprimento das metas de universalização. Essa flexibilização, se aprovada, pode comprometer a efetividade do marco legal, reduzindo o grau de exigência sobre os prestadores e enfraquecendo os incentivos à eficiência e ao investimento.

Por fim, a Proposta de Emenda Constitucional nº 2/2016 (Brasil, 2016) busca inserir o saneamento básico entre os direitos sociais expressamente previstos na Constituição Federal, reforçando seu status como serviço essencial e abrindo espaço para maior proteção jurídica e orçamentária ao setor. Embora de tramitação anterior ao novo marco legal, essa proposta assume relevância renovada à luz dos debates contemporâneos sobre o direito à água e ao saneamento.

Em conjunto, essas proposições indicam que o ambiente legislativo permanece dinâmico e sujeito a disputas normativas que podem fortalecer ou fragilizar os avanços conquistados no campo do saneamento básico.

Impactos da Reforma Tributária sobre o Setor de Saneamento

A promulgação da Emenda Constitucional nº 132/2023 (Brasil, 2023) representa um marco na reformulação do sistema tributário brasileiro, ao substituir um conjunto de tributos sobre o consumo — como PIS, Cofins, IPI, ICMS e ISS — por dois novos tributos de base ampla: a Contribuição sobre Bens e Serviços (CBS), de competência federal, e o Imposto sobre Bens e Serviços (IBS), de competência compartilhada entre estados, Distrito Federal e municípios.

Embora a reforma busque maior simplicidade, transparência e neutralidade no sistema tributário, seus efeitos sobre o setor de saneamento básico demandam análise específica, dada a natureza essencial do serviço e os desafios envolvidos em sua universalização (Portal Contábeis, 2023).

O artigo "A Reforma Tributária e o Futuro do Saneamento Básico", de Cesar Pereira, Guilherme Dias Reisdorfer e Isabella Rossito (2024), analisa os impactos da reforma tributária sobre o setor de saneamento. Ele destaca a possibilidade de aumento da carga tributária para prestadores de serviços públicos, que atualmente contam com regimes diferenciados, isenções ou alíquotas reduzidas. A incidência de alíquotas cheias, sem tratamento favorecido, pode comprometer a sustentabilidade de operadores, sobretudo em municípios de pequeno porte ou com baixa capacidade de pagamento da população.

A compreensão das implicações da reforma tributária sobre o saneamento exige atenção às desigualdades estruturais e aos padrões históricos de exclusão que incidem sobre populações negras e periféricas. Como analisa Sueli Carneiro (2011), o racismo institucional opera na distribuição desigual de recursos e na negação de direitos, sendo fundamental considerar essa dimensão na formulação de políticas de universalização e tarifa social no saneamento, cuja continuidade dos programas de tarifa social dependerá da criação de mecanismos de compensação adequados e bem regulamentados.

No aspecto jurídico, destaca-se a necessidade de regulamentação por meio de leis complementares, especialmente no que diz respeito ao tratamento tributário para serviços essenciais, créditos tributários e isenções para políticas públicas.

Em termos econômicos, o novo regime pode reduzir a atratividade de concessões e parcerias público-privadas (PPPs) no setor de saneamento, devido à elevação de custos e à incerteza regulatória no período de transição entre os regimes tributários.

Tabela 1 - Impactos Potenciais da Reforma Tributária sobre o Saneamento

Dimensão	Impacto Principal	Recomendações
Financeira	Elevação da carga tributária; necessidade de subsídios adicionais	Criação de um fundo de compensação tributária para operadores em áreas menos atrativas; ampliação do acesso a linhas de crédito facilitadas para investimentos em infraestrutura sanitária
Social	Pressão sobre tarifas; risco à continuidade das tarifas sociais	Fortalecimento da Tarifa Social de Água e Esgoto, garantindo subsídios eficazes; implementação de regras claras para subsídios cruzados visando proteger usuários vulneráveis
Jurídica	Dependência de regulamentação infraconstitucional por leis complementares	Definição de um marco regulatório específico para tributação do saneamento; inclusão do setor na categoria de bens e serviços prioritários para garantir benefícios fiscais
Econômica	Redução da atratividade de projetos de concessão e PPPs	Criação de incentivos fiscais para concessões e PPPs; desenvolvimento de modelos de financiamento inovadores para viabilizar investimentos em infraestrutura

Fonte: Elaborado pela autora

A reforma tributária proposta pela Emenda Constitucional nº 132/2023 gera impactos significativos sobre o setor de saneamento, que podem ser analisados sob quatro dimensões principais. Na dimensão financeira, observa-se a elevação da carga tributária incidente sobre os prestadores de serviços, o que intensifica a necessidade de subsídios adicionais para preservar a sustentabilidade dos projetos, especialmente em áreas com baixa capacidade de pagamento. No plano social, há uma pressão crescente sobre as tarifas cobradas dos usuários, o que pode comprometer a continuidade e a efetividade dos programas de tarifa social voltados às populações mais vulneráveis.

Do ponto de vista jurídico, a plena implementação do novo regime tributário depende da regulamentação por meio de leis complementares, o que introduz um grau elevado de incerteza normativa no curto e médio prazo. Já na dimensão econômica, destaca-se a redução da atratividade de projetos de concessão e parcerias público-privadas (PPPs), diante do aumento de custos e da indefinição quanto ao tratamento tributário específico para os serviços de saneamento. Esses fatores, se não forem devidamente mitigados, podem comprometer o alcance das metas de universalização estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento.

Para mitigar tais efeitos, é fundamental que a regulamentação infraconstitucional garanta regimes diferenciados, isenções específicas ou compensações financeiras voltadas ao setor, alinhadas aos objetivos do Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020). A implementação de um sistema tributário mais justo não pode ocorrer em detrimento da universalização do acesso à água e ao esgotamento sanitário, serviços cuja essencialidade é reconhecida pela Constituição Federal e por compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UN, 2017).

Resultados

A análise documental identificou um conjunto de proposições legislativas em tramitação no Congresso Nacional que incidem direta ou indiretamente sobre o saneamento básico, especialmente no que tange ao financiamento dos serviços e à garantia do acesso universal. Destacam-se projetos de lei complementar que regulamentam a repartição de receitas entre os entes federados no novo modelo tributário, bem como propostas de emenda à Constituição que revisam competências e fontes de financiamento do setor.

Observou-se que poucas proposições abordam de maneira explícita a questão da tarifa social, o que evidencia um déficit de atenção normativa às estratégias de inclusão e equidade no acesso ao saneamento. Em contrapartida, algumas iniciativas mencionam a necessidade de garantir o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão, sem necessariamente vincular essa preocupação à promoção da justiça social e à universalização dos serviços.

Adicionalmente, foram identificadas propostas de alteração nos fundos constitucionais e nos mecanismos de subsídio cruzado, os quais têm impacto direto sobre a viabilidade de políticas redistributivas no setor. A análise revelou ainda que as proposições mais recentes refletem uma crescente preocupação com a sustentabilidade fiscal dos serviços públicos, mas sem articulação clara com os objetivos sociais do saneamento.

Discussão

Os resultados indicam uma lacuna relevante na articulação entre a reforma tributária e os objetivos de universalização e inclusão social no saneamento. Embora as alterações constitucionais e infraconstitucionais em análise apresentem potencial para ampliar a eficiência arrecadatória e a racionalização dos tributos, não há garantias explícitas de que os recursos gerados serão canalizados para investimentos em infraestrutura social nos territórios vulneráveis.

Essa omissão é especialmente crítica em um setor cuja expansão está condicionada a investimentos de longo prazo e à existência de subsídios direcionados a populações historicamente excluídas. Como argumenta Carneiro (2011), políticas públicas que ignoram as desigualdades estruturais tendem a reproduzir padrões históricos de exclusão. Assim, a ausência de dispositivos que fortaleçam a tarifa social ou criem mecanismos compensatórios específicos para regiões de baixa renda pode comprometer os avanços prometidos pelo novo marco legal do saneamento.

Além disso, o enfoque excessivo na sustentabilidade econômico-financeira dos contratos pode obscurecer o papel do Estado como garantidor do direito humano ao saneamento. Como propõe o Pacto Global da ONU (2022), a governança do saneamento deve estar ancorada em princípios de justiça distributiva, participação social e não discriminação.

Conclusão e Recomendações

A articulação entre política tributária, regulação setorial e financiamento público revela-se fator determinante para o alcance das metas de universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil. As recentes alterações institucionais, especialmente a promulgação da Emenda Constitucional nº 132/2023, impõem desafios relevantes ao setor, demandando atenção rigorosa por parte dos formuladores de políticas públicas para evitar retrocessos nos avanços conquistados até o momento.

Com base na análise dos impactos da reforma tributária sobre o setor, recomenda-se uma série de medidas estratégicas para mitigar riscos e fortalecer o processo de universalização. Primeiramente, destaca-se a necessidade de uma regulamentação célere e eficaz da Conta de Universalização da Água, com critérios transparentes para alocação de recursos, definição clara da estrutura de governança e identificação de fontes permanentes e sustentáveis de financiamento.

Adicionalmente, é fundamental assegurar tratamento tributário diferenciado para os serviços de saneamento no novo modelo tributário, por meio da aplicação de alíquotas reduzidas, isenções fiscais ou mecanismos compensatórios que garantam a viabilidade econômico-financeira do setor, prevenindo impactos adversos na prestação dos serviços.

Outro ponto essencial refere-se ao fortalecimento da capacidade institucional dos prestadores locais, mediante apoio técnico e financeiro voltado ao desenvolvimento de planos de negócio robustos, aprimoramento da gestão operacional e ampliação do acesso a recursos financeiros. A proteção e expansão dos programas de tarifa social são igualmente indispensáveis, demandando critérios de focalização eficientes e implementação de subsídios cruzados ou compensações automáticas pela União, assegurando o acesso ao saneamento para populações vulneráveis.

Recomenda-se, ainda, o monitoramento contínuo da transição tributária, com participação ativa dos órgãos reguladores e entidades representativas do setor, para avaliar os impactos das mudanças, propor ajustes normativos e preservar a previsibilidade regulatória, elemento essencial para a estabilidade dos investimentos.

Por fim, é imprescindível que todas essas ações estejam alinhadas às metas do Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com ênfase no ODS 6, garantindo coerência entre as políticas públicas e a promoção da justiça social no setor.

A construção de um ambiente normativo e institucional favorável à universalização e sustentabilidade dos serviços de água e esgoto dependerá da atuação coordenada entre os poderes Executivo, Legislativo e entes federativos. O acompanhamento

atento da regulamentação infraconstitucional da reforma tributária será decisivo para mitigar impactos regressivos, garantir continuidade dos investimentos e preservar o direito humano ao saneamento no Brasil.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Tarifa Social de Água e Esgoto – Perguntas Frequentes.** Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/tarifa-social-de-agua-e-esgoto/perguntas-frequentes. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BOWEN, Glenn A. **Document analysis as a qualitative research method.** Qualitative Research Journal, v. 9, n. 2, p. 27–40, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240807798_Document_Analysis_as_a_Qualitative_Research_Method. Acesso em: 29 mar. de 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 3.772/2024. Altera a Lei nº 11.445/2007 para incluir drenagem urbana e resíduos sólidos entre os serviços obrigatórios.** Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2483022. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 4.888/2024. Prorroga os prazos para cumprimento das metas de universalização previstas no Marco Legal do Saneamento.** Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2487063. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 403/2024. Destina recursos de outorga ao financiamento da universalização dos serviços de saneamento básico.** Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2477107. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Proposta de Emenda à Constituição nº 2/2016. Altera o art. 6º da Constituição Federal para incluir o saneamento básico entre os direitos sociais.** Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2082014. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Decreto nº 11.598, de 12 de julho de 2023. Regulamenta o art. 10-B da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para estabelecer a metodologia para comprovação da capacidade econômico-financeira dos prestadores de serviços públicos de abastecimento de água potável ou de esgotamento sanitário, considerados os contratos em vigor, com vistas a viabilizar o cumprimento das metas de universalização.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 160, nº 132, p. 1, 13 jul. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11598.htm. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 132, de 20 de dezembro de 2023. Altera o Sistema Tributário Nacional e dá outras providências.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc132.htm. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL**. Lei Complementar nº 214, de 16 de janeiro de 2025.** Institui o Imposto sobre Bens e Serviços (IBS), a Contribuição Social sobre Bens e Serviços (CBS) e o Imposto Seletivo (IS); cria o Comitê Gestor do IBS e altera a legislação tributária. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp214.htm. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: Planalto. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico. Disponível em: Planalto. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.898, de 13 de junho de 2024. Institui diretrizes para a Tarifa Social de Água e Esgoto em âmbito nacional.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 161, nº 113, p. 13, 14 jun. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14898.htm. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. Presidência da República. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 26 mar. de 2025.

BRASIL. **Senado Federal. Proposta de Emenda à Constituição nº 2, de 2016.** Disponível em: Senado Federal. Acesso em: 26 mar. de 2025.

CARNEIRO, Sueli. **Racismo, sexismo e desigualdade no Brasil.** 1. ed. São Paulo: Summus, 2011. E-book. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 29 mar. de 2025.

CONTANI, Eduardo Augusto do R.; SAVOIA, José Roberto F. **Infraestrutura no Brasil**. Rio de Janeiro: Atlas, 2017. E-book. p. xiii. ISBN 9788597010756. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597010756/. Acesso em: 29 mar. de 2025.

FRANCO, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. 5. ed. Campinas: Autores Associados, 2021. *E-book*. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 29 mar. de 2025.

FREITAS, N. (2025). **Infortúnio consumado: impacto da reforma tributária no saneamento básico.** Conjuntura Econômica, **79**(1). Disponível em: https://ibre.fgv.br/sites/ibre.fgv.br/files/arquivos/u65/01ce2025_neuri_freitas.pdf. Acesso em: 2 mai. de 2025.

GIL, A. C. (2008). **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597020991/epubcfi/6/2%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dcover%5D!/4/2/2%4051:1. Acesso em 29 de mar. de 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Futuro em risco – Efeitos da falta de saneamento na vida de grávidas, crianças e adolescentes.** Outubro de 2024. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/10/Futuro-em-risco-v.2024-10-08.pdf. Acesso em: 22 abr. de 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Manual do Saneamento Básico 6.** Setembro de 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/manual-imprensa.pdf. Acesso em: 22 abr. de 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Saneamento e Saúde – Como a falta de acesso à infraestrutura básica afeta as incidências de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado no Brasil.** 2025. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/03/ESTUDO-COMPLETO-Saneamento-e-saude-Como-a-falta-de-acesso-a-infraestrutura-basica-afeta-as-incidencias-de-doencas-relacionadas-ao-saneamento-ambiental-inadequado-no-Brasil-TRATA-BRASIL.pdf. Acesso em: 22 abr. de 2025.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Pesquisa social:** teoria, método e criatividade. 1. ed. Petrópolis: Vozes, 2016. *E-book*. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 29 mar. de 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolução 64/292. O direito humano à água potável e ao saneamento.** Organização das Nações Unidas. 2010. Disponível em: https://docs.un.org/es/A/RES/64/292. Acesso em: 26 abr. de 2025.

PACTO GLOBAL DA ONU. **Água e saneamento como direitos humanos: princípios orientadores para empresas.** Rede Brasil do Pacto Global, 2022. Disponível em: https://www.pactoglobal.org.br. Acesso em: 29 mar. de 2025.

PEREIRA, C., Reisdorfer, G. D., & Rossito, I. (2024). **A Reforma Tributária e o Futuro do Saneamento Básico.** Disponível em: https://justen.com.br/wp-content/uploads/2024/11/IE-213-Cesar-Guilherme-Isabella-REFORMA-TRIBUTARIA-E-O-FUTURO-DO-SANEAMENTO-BASICO.pdf/. Acesso em: 26 mar. de 2025.

PORIES, L., Fonseca, C., & Delmon, V. (2019). **Mobilising Finance for WASH: Getting the Foundations Right. Water, 11(11), 2425.** Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/11/11/2425. Acesso em: 2 abr. de 2025.

PORTAL CONTÁBEIS (2023). **CBS: o que é a Contribuição sobre Bens e Serviços?** Disponível em: https://www.contabeis.com.br/noticias/60338/cbs-o-que-e-a-contribuicao-sobre-bens-e-servicos/. Acesso em: 6 mai. de 2025.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World.** United Nations. 2017.Disponível em: https://sdgs.un.org/goals Acesso em: 02 de mar. de 2025.

— RESUMOS —

Saneamento Rural



8º SSS

O ESTADO DA ARTE DO USO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA DE *WETLAND* CONSTRUÍDO

1Débora Taina da Silva de Lima, 2Kethlen Correa de Souza, 3Máriam Trierveiler Pereira, 4Norma Barbado
1Instituto Federal do Paraná, e-mail:deborahtaina25@gmail.com; 2Instituto Federal do Paraná, e-mail mail: kethlencorreea@gmail.com; 3Instituto Federal do Paraná, e-mail:mariam.pereira@ifpr.edu.br; 4Instituto Federal do Paraná, e-mail:norma.barbado@ifpr.edu.br

Palavras-chave: Saneamento Rural; Tratamento de esgoto sustentável; Fossa Verde.

Resumo

A contaminação do solo e dos recursos hídricos configura-se como um problema ambiental relevante, com implicações diretas na saúde pública. Em grande parte, tal contaminação decorre do lançamento inadequado de esgoto in natura no ambiente, o que pode resultar na disseminação de doenças de veiculação hídrica, como diarreia, cólera e hepatite. Essa realidade ocorre com maior frequência em zonas rurais, onde a ausência de sistemas de esgotamento sanitário é uma realidade persistente, contrastando com os centros urbanos, onde aproximadamente 62,5% dos municípios brasileiros contam com coleta e tratamento de esgoto. Diante desse cenário, esse estudo teve como objetivo realizar uma revisão do estado da arte a respeito de dois principais métodos utilizados na implantação de sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes em propriedades rurais. Para isso, foram realizadas buscas na base de dados Periódico CAPES e SciELO, utilizando os descritores de "*Wetland* construído" e "*Wetland* construído em propriedades rurais", resultando na seleção de 14 estudos para a análise. Pode-se constatar que 64% dos trabalhos utilizaram o sistema de *Wetland* construído de Fluxo Vertical (WCFV), considerado como alternativa mais eficiente para o tratamento de efluentes em comunidades rurais.

Introdução

A qualidade de vida de uma comunidade está intrinsecamente ligada a diversos fatores, entre os quais se destaca o acesso a condições sanitárias adequadas. No estado do Paraná, aproximadamente 24,6% da população ainda não dispõe de coleta e tratamento de esgoto, o que representa mais de 2,8 milhões de habitantes vivendo em residências sem esgotamento sanitário (IBGE, 2022). Esse percentual, que abrange tanto áreas urbanas quanto rurais, encontra-se ligeiramente inferior à média nacional, estimada em 44% (SNIS, 2022). Em resposta à essa realidade, a Lei Federal nº 14.026/2020, em seu Art.7º, inciso I, estabelece a meta de universalização do acesso aos serviços de saneamento básico em todo território nacional (Brasil, 2020). Todavia, em regiões mais afastadas dos centros urbanos, a situação revela-se ainda mais crítica, uma vez que grande parte dos moradores de áreas rurais não é contemplada com serviços públicos de saneamento. Como consequência, muitos recorrem ao uso de fossas rudimentares para disposição final dos efluentes, prática que pode ocasionar contaminações pontuais ou difusas do solo e dos corpos hídricos adjacentes (Ramos, 2017). Diante desse cenário, têm sido desenvolvidas tecnologias descentralizadas voltadas ao esgotamento sanitário rural, visando a popularização de sistemas alternativos sustentáveis.

Uma destas alternativas é o uso do *wetland* construído, tecnologia baseada na utilização de plantas macrófitas cujas raízes atuam na remoção de poluentes da fração líquida do esgoto doméstico. Esse sistema é composto por uma fossa séptica, responsável pela sedimentação da matéria, seguida por um leito filtrante onde ocorre o tratamento do efluente por meio da ação combinada do meio filtrante e das plantas. Os *Wetlands* construídos são capazes de promover a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, de forma análoga aos processos observados em ecossistemas naturais como banhados e áreas alagadas (Kaldlec, 1987). Além de eficaz, essa tecnologia apresenta baixo custo de implantação e manutenção, não requer mão de obra especializada para sua construção e pode ser manejada localmente, com substituição de mudas sempre que necessário para garantir o desempenho do sistema. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo principal mapear e analisar dois principais encaminhamentos metodológicos na construção dos sistemas de *wetland* construídos. Os objetivos específicos foram: comparar as características dos sistemas de *Wetland*, identificar similaridades nos procedimentos adotados e avaliar a eficiência dos métodos na filtração dos efluentes, bem como na redução de coliformes termotolerantes e outros poluentes químicos prejudiciais ao meio ambiente.

Metodologia

Esse estudo caracteriza-se por sua abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva. Para a coleta de dados, foram utilizadas as bases de dados SciELO e Periódicos CAPES, utilizando os descritores: "*wetland* construído" e "*wetland* construído em propriedades rurais". A escolha desses termos visou assegurar a relevância e a aderência dos estudos selecionados aos objetivos do estudo. Quanto aos critérios de inclusão, foram considerados trabalhos realizados no Brasil, de acesso aberto e publicados no período compreendido entre 2014 e 2024, com o intuito de capturar possíveis evoluções metodológicas na implantação dos sistemas de *wetland* construído ao longo da última década.

Resultados e Discussão

No desenvolvimento do estudo, os artigos selecionados foram analisados e categorizados pela metodologia, conforme exposto no Quadro 1. A partir disso, foi possível realizar um comparativo entre as metodologias utilizadas e a eficiência alcançada com o sistema no atendimento aos parâmetros físico-químicos.

Quadro 1- Categorização dos conteúdos quanto aos métodos e eficiência do sistema de wetlands construído

Categoria	Incidência (n=14)
Métodos utilizados pelos autores	
Wetland Construído de fluxo vertical	9
Wetland Construído de fluxo horizontal	5
Parâmetros físico-químicos analisados para verificação da eficiência	
1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	14
2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)	14
3. pH	11
4. Turbidez	5
5. Temperatura	4
6. Oxigênio Dissolvido (OD)	3

Fonte: Elaborado pelos autores

Durante a análise percebeu-se que o sistema de *Wetland* construído de Fluxo Vertical (WCFV) foi utilizado como processo metodológico em uma incidência de nove estudos, já o sistema de *Wetland* construído de Fluxo Horizontal (WCFH) foi identificado em cinco trabalhos. Além disso, todos os trabalhos analisaram a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) como parâmetros físico-químicos a fim de verificar a eficiência dos *Wetlands*. O pH foi analisado em 11 estudos e a turbidez, temperatura e o Oxigênio Dissolvido (OD) foram analisados, respectivamente, em 5, 4 e 3 estudos.

A maior incidência do WCFV ocorreu devido a sua eficácia em atender aos parâmetros de lançamento de efluentes exigidos pela CONAMA 430/2011 para a DBO. Apesar disso, Nagamati (2018) cita que o sistema não demonstra uma eficácia considerável quanto ao parâmetro de turbidez estabelecido pela legislação vigente. O autor ainda menciona que a eficiência na remoção da turbidez está diretamente ligada ao efeito gravitacional do sistema, ou seja, o método que utiliza a declividade do solo como característica própria para percolação do efluente têm um aumento significativo na remoção dele. Ainda em análise dos nove estudos que utilizaram a técnica de WCFV para o tratamento do esgoto doméstico, observa-se que todos os textos mencionam uma eficácia na redução das taxas de DBO, DQO, assim como elevada remoção de nutrientes.

Nesse contexto, a Resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece um valor máximo para DBO de 60mg/L, sendo este um parâmetro de controle (Brasil, 2011). Este controle foi atendido em todos os estudos analisados, obtendo o valor máximo de eficiência com 91% para DQO, no estudo de Santos et. al (2018), enquanto a menor eficiência foi registrada no trabalho de Trein et al. (2017), com uma taxa de remoção de 69% para DQO. Mediante a elevada incidência de trabalhos utilizando o método de WCFV observou-se vantagens em relação a outros sistemas, sendo elas: eficiência elevada na remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos suspensos e uma disponibilidade de menor área para construção do sistema, visto que é dimensionado levando em consideração a sua Taxa Hidráulica (TH) e carga orgânica disponível na parte superficial do sistema (SANTOS et al., 2017).

Ainda, o sistema de WCFH difere do WCFV quanto à sua configuração construtiva, necessitando a instalação em áreas com declividade do solo adequada. Essa característica confere ao sistema uma vantagem relacionada à menor incidência de colmatação – fenômeno que ocorre devido ao preenchimento de espaços vazios entre os materiais do meio filtrante (Lourenço, 2018). Além disso, tal configuração contribui para a remoção da turbidez do efluente. No estudo de Matos et al. (2018) observaram-se elevadas taxas na remoção de DQO e DBO, alcançando 78% e 80%, respectivamente. Da mesma forma, Sartor et al. (2021) relataram uma eficiência de 79% para remoção da turbidez. Tais resultados demonstram que os parâmetros obtidos por sistemas descentralizados de tratamento de esgoto estão em conformidade com a legislação vigente. Entretanto, destaca-se que o WCFV apresenta, de modo geral, taxas superiores de remoção desses parâmetros em comparação ao WCFH.

Considerações finais

Os *Wetlands* Construídos representam soluções sustentáveis e eficazes para o tratamento descentralizado de esgoto, sendo especialmente viáveis em áreas rurais. A comparação entre os sistemas de fluxo horizontal subsuperficial (WCFH) e de fluxo vertical (WCFV) revela que ambos possuem vantagens específicas: o WCFH destaca-se pela menor tendência à colmatação e pela remoção de turbidez, enquanto o WCFV apresenta maior eficiência na remoção de carga orgânica, como DQO e DBO. A escolha do sistema mais adequado deve considerar fatores como a topografia, os objetivos de tratamento e os parâmetros legais, reforçando a importância de soluções adaptadas às condições locais e ambientalmente responsáveis.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (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). **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89–91, 16 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, e a Lei nº 13.771, de 19 de dezembro de 2018. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento,** 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel. Acesso em: 07 abr. 2025.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Saneamento básico: acesso à coleta e tratamento de esgoto no Paraná., 2022**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 4 nov. 2024.

KADLEC RH. **Northern natural olônia water treatment systems**. In: Reddy KR, Smith WH, editors. Aquatic plants for water treatment and resource recover. Orlando, USA: Magnolia Publishing, 1987.

LOURENÇO, L. S.; RODRIGUES, E. B.; MOREIRA, M. A.; SKORONSKI, E. **Remoção de matéria orgânica e nutrientes de esgoto doméstico por *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial na estação de tratamento de aparecida - campos novos, sc.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.8, n.1, p.85-94, 2018.

NAGAMATI, F. L.; SANTOS, J. J. F.; MENDES, T. A. **Execução de *wetland* construído para tratamento de efluente doméstico em propriedade rural**. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 7, n. 1, p. 418-446, 2018.

RAMOS, M. F. **Tecnologia Social como facilitadora para tratamento de esgoto em área rural**. São Paulo: Biblioteca/CIR. 2018.

SANTOS, M. O.; PELISSARI, C.; RUSSO, B. Z.; FREITAS, M. N.; SEZERINO, P. H. **Avaliação dos dois primeiros anos de operação de um wetland construído vertical de fundo saturado aplicado no tratamento de esgoto sanitário**. TECNO-LÓGICA, v. 22, n. 1, p. 25-29, 2018.

SARTOR, D; MOTTA, J. A.; MEDEIROS, R. C.; DECEZARO, S. T. **Dimensionamento e avaliação de wetland construído utilizado para tratamento de efluente doméstico em área rural: um estudo de caso**. 2021.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Saneamento Rural

8º SSS

DIFICULDADES NA CONSTRUÇÃO E MONITORAMENTO DE TANQUES DE EVAPOTRANPIRAÇÃO PARA TRATAR ESGOTO FECAL EM COMUNIDADES RURAIS

1Adivânia Cardoso da Silva, 2Adriana Duneya Díaz Carrillo, 3Vinicius Baroni Scalize, 4Humberto Carlos Ruggeri Junior, 5Paulo Sérgio Scalize

1Universidade Federal de Goiás, e-mail: adivaniacardoso@discente.ufg.br; 2Universidade Federal de Goiás, e-mail: adrianacarrillo@discente.ufg.br; 3Universidade Federal de Goiás, e-mail: vinicius.scalize@discente.ufg.br; 4Universidade Federal de Goiás, e-mail: hcruggeri35@gmail.com;5Universidade Federal de Goiás, e-mail: pscalize.ufg@gmail.com

Palavras-chave: soluções sustentáveis; participação social; comunidades quilombolas.

Resumo

O déficit de esgotamento sanitário em comunidades rurais brasileiras ainda é uma realidade crítica, especialmente entre populações tradicionais, como as quilombolas. A implementação de soluções sustentáveis, com destaque para as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como os tanques de evapotranspiração (TEvap), apresenta-se como alternativa viável para mitigar essa deficiência. No entanto, dificuldades relacionadas ao acesso às comunidades, à aceitação das tecnologias e ao monitoramento adequado dessas estruturas são desafios recorrentes. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo identificar e discutir as principais dificuldades enfrentadas durante a construção e o monitoramento de TEvap em sete comunidades quilombolas rurais do estado de Goiás. A pesquisa foi conduzida entre julho 2023 e maio 2025, no âmbito do projeto TradSan, e envolveu mobilização comunitária, construção participativa e monitoramento técnico das unidades. Foram observadas facilidades como a disponibilidade de materiais locais e o engajamento da comunidade, mas também dificuldades como limitações de infraestrutura, desafios logísticos, problemas técnicos na construção, e limitações metodológicas no monitoramento dos sistemas. Os resultados apontam para a necessidade de planejamento adaptado à realidade local e reforçam a importância do envolvimento comunitário para o sucesso e sustentabilidade das tecnologias implementadas. De forma geral, conclui-se que os TEvap representam uma alternativa viável e sustentável, desde que acompanhados de suporte técnico, capacitação local e ações de gestão integrada.

Introdução

O acesso ao esgotamento sanitário adequado ainda é um dos principais desafios enfrentados por comunidades rurais no Brasil. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a cobertura dos serviços de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais é bem inferior à observada em áreas urbanas, evidenciando um déficit estrutural e histórico que compromete a saúde pública e o meio ambiente (SNIS, 2023). Esse cenário é ainda mais crítico em comunidades tradicionais, como as quilombolas, que, por sua localização remota e menor visibilidade política, enfrentam maior vulnerabilidade. No estado de Goiás uma pesquisa observou que em 84,6% de 97 comunidades existia falta de atendimento ou atendimento precário (VALE, RUGGERI JUNIOR e SCALIZE, 2022).

Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento e a implementação de soluções sustentáveis que respeitem as especificidades locais, sejam de baixo custo, fácil manutenção e baixo impacto ambiental. As Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como os tanques de evapotranspiração (TEvap), representam alternativas promissoras ao possibilitarem o tratamento de esgoto doméstico por meio de processos naturais, com potencial de reaproveitamento de nutrientes e de promoção da segurança hídrica e sanitária (PAULO et al., 2019). Os TEvap, quando corretamente dimensionados, operam como sistemas de descarga zero, o que pode torná-lo atrativo em áreas rurais onde a limitação de disposição final dos efluentes seja um entrave para adoção.

Contudo, a adoção dessas tecnologias enfrenta entraves que vão além do aspecto técnico. O difícil acesso geográfico a muitas comunidades rurais e a limitação na infraestrutura local dificultam o transporte de materiais, o acompanhamento técnico das obras e o suporte pós-implantação (SILVEIRA JUNIOR; LOBÃO; SIQUEIRA, 2024). Além disso, a aceitação e o entendimento por parte da população local sobre o funcionamento das tecnologias são aspectos essenciais, muitas vezes negligenciados, que influenciam diretamente na adesão, uso e manutenção adequados das soluções implementadas (SILVA et al., 2023).

Outro ponto crítico está relacionado ao monitoramento das unidades implantadas (SANTOS; SANTANA, 2021). A ausência de metodologias simplificadas e adaptadas ao contexto rural, aliada à escassez de recursos humanos e financeiros, dificulta a coleta sistemática de dados, avaliação de desempenho e identificação de falhas operacionais, comprometendo a efetividade e a replicabilidade dessas soluções. Relatos de extravasamento em fossas rudimentares ou fossas sépticas são recorrentes e, em grande parte, decorrentes de deficiências no dimensionamento hidráulico-sanitário e/ou falhas construtivas (OTUNOLA; ZHOU, 2024). Tais ocorrências estão diretamente relacionadas a restrições inerentes ao contexto rural, como a dispersão das moradias, as dificuldades de acesso às comunidades, o uso de tecnologias não convencionais e a carência de assistência técnica especializada. Soma-se a isso o baixo nível socioeconômico da população local, que compromete a implementação, operação e manutenção adequadas das infraestruturas de saneamento (CRUZ, 2020).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo identificar e discutir as principais dificuldades enfrentadas na construção e no monitoramento de tanques de evapotranspiração em sete comunidades quilombolas rurais no estado de Goiás, contribuindo para o aprimoramento de práticas em saneamento rural sustentável.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A pesquisa teve início em julho/2023 e foi conduzida em sete comunidades quilombolas rurais localizadas no estado de Goiás. Essas comunidades apresentam uma variação populacional entre 10 e 42 famílias, estando situadas a distâncias que variam de 83 a 393 km da capital, Goiânia (Tabela 1). A distribuição espacial das comunidades pode ser visualizada na Figura 1.

Tabela 1 - Relação e descrição das comunidades estudadas

Município	Nome da comunidade rural	Total estima do de domicílios	Distância de Goiânia (km)	Latitude	Longitude
Barro Alto	Fazenda Santo Antônio da Laguna	18	249	-14,689180	-48.809411
Colinas do Sul	José de Coleto	11	393	-13.748705	-48.032011
Iaciara	Povoado Levantado	16	506	-14.028055	-46.680738
Mimoso de Goiás	Queixo Dantas	17	267	-15.158519	-48.523335
Niquelândia	Rafael Machado	18	377	-14.457977	-48.981697
São Luíz do Norte	Porto Leucádio	10	246	-14.971352	-49.304230
Silvânia	Almeidas	42	83	-16.711405	-48.237161
Total	7 comunidades	132 domicílios			

Fonte: Elaborado pelos autores

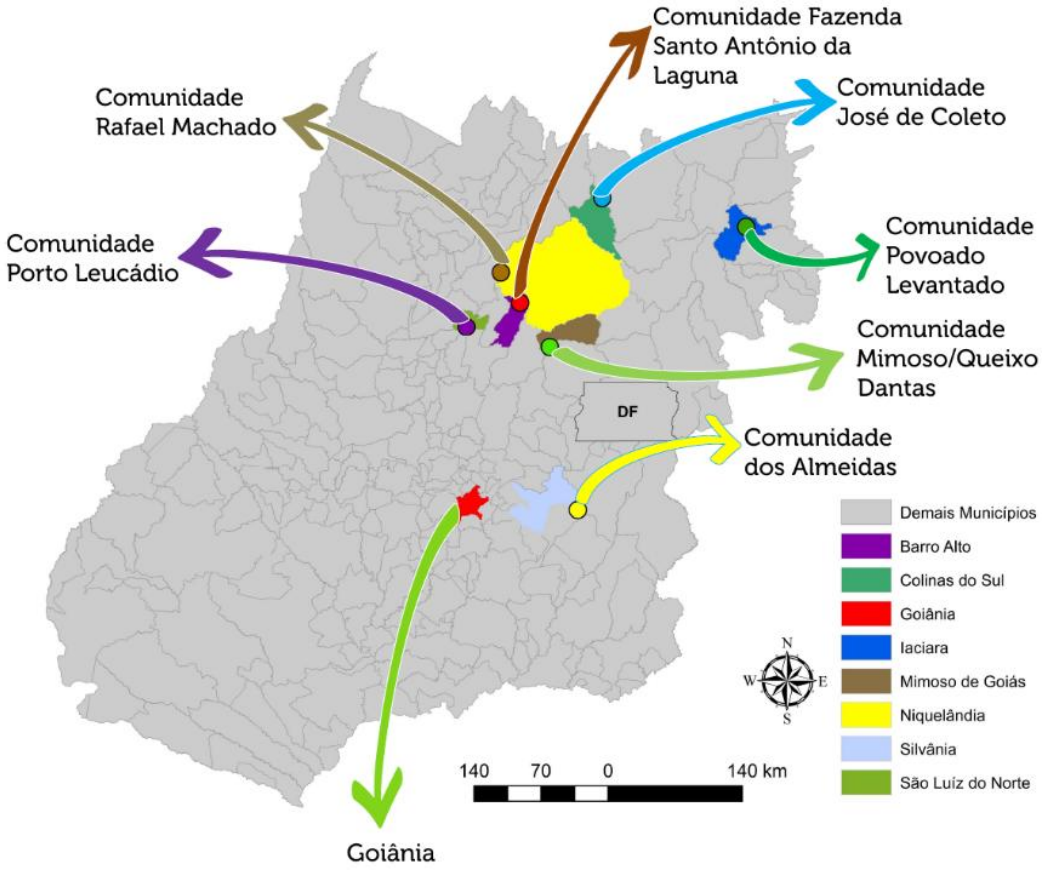


Figura 1: Localização municípios com as comunidades rurais no estado de Goiás estudadas

A pesquisa foi realizada no âmbito do projeto "Análise situacional de comunidades quilombolas de Goiás e compartilhamento de boas práticas em saneamento – TradSan", uma parceria interinstitucional entre a Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE), a Universidade Federal de Goiás (UFG), a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e o Ministério Público Federal (MPF). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (UFG), sob o parecer nº 74841323.9.0000.5083.

Construção das TEvap

Construiu-se um TEvap em cada comunidade, com exceção de Povoado Levantado que estão sendo construídas duas unidades. As dimensões e a quantidade de pessoas atendidas estão inseridas na Tabela 2, os quais receberam exclusivamente esgoto fecal oriundo do(s) vaso(s) sanitário(s) de cada domicílio (Figura 2).

Tabela 2 – Dimensões do TEvap e material de enchimento

Comunidade	Dimensões (m)			Nº de habitantes atendidos	Camadas do TEvap (cm)				Quantidade de bananeiras
	L	C	H		Tijolo + pneu	Brita	Areia	Solo	
1	1,5	5,0	1,2	5	50	10	20	35	8
2	1,5	5,0	1,2	8	50	10	20 (*)	35	8
3	1,5	5,0	1,2	2	50	10	20	35	10
4	1,5	5,0	1,2	1	50	10	20	35	10
5	1,5	3,0	1,2	1	50	10	20	35	6
6	1,5	5,4	1,3	8	54	10	26	40	12
7a	1,5	5,0	1,2	5	NF (**)	NF	NF	NF	NF
7b	1,5	5,0	1,2	4	NF (**)	NF	NF	NF	NF

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: nome das comunidades: Porto Leucádio = 1; Almeidas = 2; Fazenda Santo Antônio da Laguna = 3; Rafael Machado = 4; José de Coleto = 5; Queixo Dantas = 6; Povoado Levantado = 7. Dimensões do TEvap: Largura = L; Comprimento = C; Profundidade = H; não finalizada = NF; foi utilizado pedregulho no lugar da brita = (*); a câmara central será construída em tubo plástico ao invés de pneu = (**).

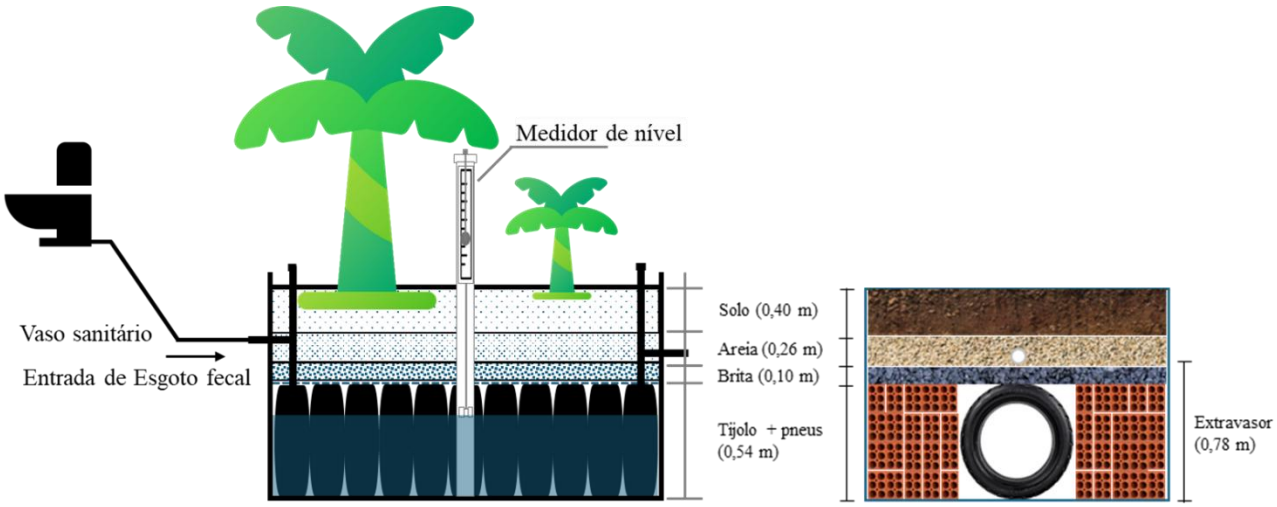


Figura 2: Ilustração de um tanque de evapotranspiração recebendo esgoto fecal, com dimensões da TEvap de Queixo Dantas

Identificação de dificuldades e facilidades

Durante a fase de mobilização da comunidade, construção e monitoramento dos TEvap, foram identificadas dificuldades e facilidades aos quais foram tabeladas e ações foram tomadas para melhoria. A análise realizada foi descritiva, mediante a observação direta e descrição do problema, usando instrumento de recolecção de dados como caderno de anotações, câmera fotográfica (Arias, 2012). As experiências sobre as dificuldades foram relatadas em reuniões no grupo de pesquisa para discutir e avaliar as possíveis soluções, além de revisões da literatura referente à temática, e algumas ações foram sendo implementadas durante a execução do projeto.

Entre as ações realizadas para a coleta de informações descritivas, destacam-se aquelas desenvolvidas durante a mobilização comunitária, por meio da escuta ativa dos participantes. Dentre elas, destacam-se: a sensibilização da comunidade sobre as condições de saneamento locais; a apresentação de uma maquete representativa de uma TEvap, com explicações sobre sua finalidade, funcionamento e processo construtivo; a verificação dos domicílios que realizavam separação total ou parcial dos efluentes; o levantamento do número de contribuintes; a identificação de locais para aquisição de materiais de construção e mão de obra local; além da avaliação da aceitação quanto à instalação de sistemas de aquisição de dados e à presença de pesquisadores para a coleta de informações.

Resultados e Discussão

A mobilização e o contato com as comunidades ocorreram de forma simultânea no início do projeto, com exceção do Povoado Levantado, cujo envolvimento foi adiado em aproximadamente 30 dias devido à desistência de uma comunidade inicialmente selecionada.

As construções enfrentaram diferentes dificuldades, exigindo respostas específicas às demandas locais e decisões contextuais, que resultaram em impactos variados (Tabela 3). Já na Tabela 4 apresenta uma síntese do processo de construção das unidades TEvap, iniciando com a primeira implantada em setembro/2023, e seguida pelas demais. Destaca-se que a unidade do Povoado Levantado teve início em setembro/2024, mas ainda não foi concluída. A tabela também inclui o período de monitoramento e as principais facilidades encontradas durante as execuções.

Tabela 3 - Relação das dificuldades encontradas durante a construção e operação dos TEvap, bem como os impactos gerados e as ações corretivas realizadas ou programadas

Comunidade	Dificuldades	Impacto gerado	Ação corretiva realizada
1	Vaso sanitário vazando na descarga	Menor contribuição de água por descarga	Foi trocado o vaso sanitário
	Três mudas de bananeiras pegaram doença da broca-do-rizoma.	Demora no crescimento das bananeiras, influenciando no volume evapotranspirado	As bananeiras doentes foram identificadas e substituídas
2	Sifonamento do esgoto	Extravasamento de todo esgoto dentro do TEvap, sendo encaminhado para o sumidouro	Apesar de existir tubos de respiro, estavam com CAP (tampão). Instalou-se nos CAP tubos ¾ em forma de "J" invertido
	Bovinos comendo as folhas das bananeiras	Redução da evapotranspiração	O TEvap foi cercado
3	Foi informado pelo morador que havia vacas que iram comer as folhas das bananeiras	Reduziria a evapotranspiração	O TEvap foi cercado
4	Galinhas estavam comendo as mudas de bananeiras	Demora no crescimento das bananeiras impactando na evapotranspiração	O TEvap foi cercado
5	Difícil abrir a vala (terreno pedregoso)	Demora na construção do TEvap	Contratou-se mais um ajudante para abrir a vala
	O domicílio utilizava energia emprestada, a qual foi desligada	Inviabilidade de comunicação com o próprio morador.	Articulação com um morador vizinho, no qual tem acesso à energia e internet, para trocas de informações.
6	Demora na abertura da vala (rocha)	Demora na construção do TEvap	Diálogo com o morador e repasse de orientações em como proceder na escavação.
	Recebimento do material de construção	Demora na construção do TEvap	Diálogo com a liderança e lojista, e pagamento de ajuda de custo para transporte do material até o local de construção.
7	Demora na contratação de pedreiro	Demora na construção do TEvap	Articulação com a liderança na identificação de pedreiro com disponibilidade.
Todos os TEvap	Medir o nível do esgoto dentro da BET	Contaminação do solo não será conhecida, pois o dreno é conectado a um sumidouro	Desenvolver e construir um sistema mecânico, com boia e roldanas (Figura 2)
	Avaliação da degradação do esgoto dentro do TEvap	Mensurar a carga orgânica lançada no meio ambiente	Programação de instalação de no mínimo três pontos de coletas, início, meio e fim
	Determinar o volume de esgoto gerado por cada família	O volume evapotranspirado não será real, será estimativo	Instalação de medidores antes do vaso sanitário
	Registrar corretamente o volume de esgoto	Super ou Subdimensionar o do TEvap	Especificar o medidor Adequadamente, considerar a qualidade da água
	Retirar o lodo de dentro da câmara central do TEvap	Não será possível retirar todo o lodo	Construir a câmara central com tubos lisos (barril 200L)
	Registrar a temperatura e a umidade do ar	Ausência de dados reais, sendo necessários estimá-los	Adquirir equipamento robustos para registrar a temperatura e umidade do ar
	Registrar a temperatura e umidade do solo	Ausência de dados reais, sendo necessários estimá-los	Aquisição de logger mais resistente e robusto a intempéries.

Fonte: Elaborado pelos autores. Nota: Porto Leucádio = 1; Almeidas = 2; Fazenda Santo Antônio da Laguna = 3; Rafael Machado = 4; José de Coleto = 5; Queixo Dantas = 6; Povoado Levantado = 7.

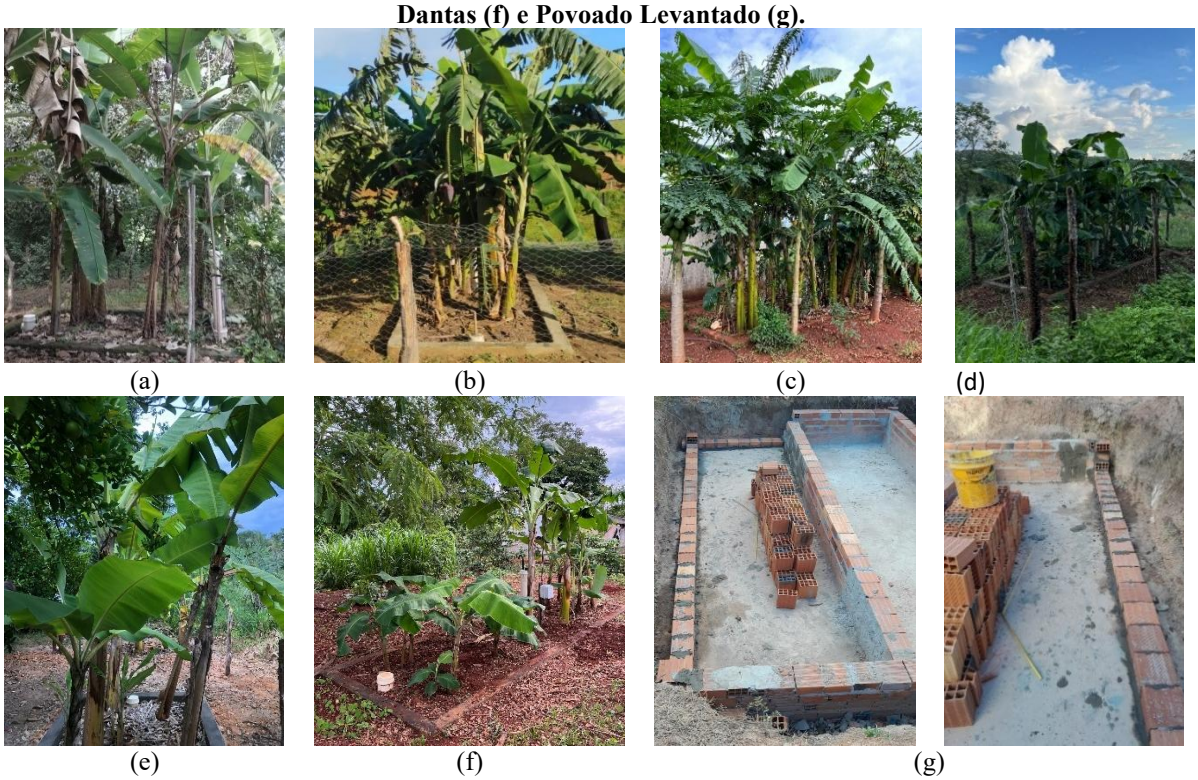
Tabela 4 - Relação dos TEvap, contendo o período de construção e monitoramento, conjuntamente com as facilidades detectadas

C	Período de construção		Período de monitoramento		Facilidades
	Início	Término	início	Dias	
1	27/07/23	30/09/23	30/09/23	584	Areia e pedregulho com disponibilidade local e gratuito; Pedreiro local. Disponibilidade de maquinário na região para a escavação do terreno, apoio da Prefeitura na abertura da vala.
2	11/10/23	01/12/23	09/12/23	514	Ajuda local na obtenção solo. Disponibilidade de maquinário na região para a escavação do terreno a baixo custo (R$250,00).
3	21/11/23	15/12/23	15/12/23	508	Pedreiro local; ajuda do morador em todas as etapas de construção, desde a escavação manual do terreno até o levantamento da alvenaria auxiliando o pedreiro; Areia com disponibilidade local e gratuito.
4	17/11/23	15/12/23	15/12/23	508	Disponibilidade de maquinário na região para a escavação do terreno a baixo custo (R$300,00)
5	18/12/23	29/02/24	29/02/24	431	Pedreiro local.
6	14/11/23	19/09/24	19/09/24	229	Pedreiro local. Fossa rudimentar estava cheia, necessitando de outra solução.
7	03/09/24	-	-	-	Pedreiro local. Entrega grátis dos materiais de construção devido à proximidade da comunidade à cidade.
Todos os TEvap	-	-	-	-	Obtenção gratuita de mudas de bananeiras de diferentes tipos; Engajamento das lideranças na articulação com a comunidade e com pedreiro; Domicílios com separação total ou parcial das frações de esgoto (água cinza e água fecal); Domicílios com número de contribuintes compatível com o projeto proposto.

Fonte: Elaborado pelos autores. Nota: Porto Leucádio = 1; Almeidas = 2; Fazenda Santo Antônio da Laguna = 3; Rafael Machado = 4; José de Coleto = 5; Queixo Dantas = 6; Povoado Levantado = 7. Comunidade = C

Na Figura 3 se apresenta o estágio de execução de cada uma das TEvap relativas ao projeto. Com exceção de Povoado levantado, ainda sendo construído (Figura 3g), se observa um bom desenvolvimento, sendo que em 71,4% (5/7) já produziram bananas.

Figura 3 – Estágio de execução das unidades TEvap referentes ao projeto, em maio de 2025, das comunidades Porto Leucádio (a), Almeidas (b), Fazenda Santo Antônio da Laguna (c), Rafael Machado (d), José de Coleto (e), Queixo Dantas (f) e Povoado Levantado (g).



(a) (b) (c) (d)

(e) (f) (g)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A participação comunitária nas etapas de mobilização, construção e monitoramento foi decisiva para a implementação e continuidade das TEvap. Apesar dos desafios operacionais e de aceitação social — frequentes em soluções baseadas na natureza (JEGATHEESAN et al., 2022) —, esses foram superados graças à liderança local, ao respeito às dinâmicas culturais e à articulação com redes sociais locais (OLIVEIRA et al., 2020). Batista e Neu (2024) destacam ainda que o alinhamento entre interesse dos usuários, acessibilidade e eficiência técnica conferiu robustez ao projeto, favorecendo sua integração em políticas públicas de universalização do acesso à água e saneamento.

Conclusões

A implantação dos tanques de evapotranspiração (TEvap) nas sete comunidades quilombolas rurais do estado de Goiás evidenciou tanto os potenciais quanto os desafios inerentes à implementação de tecnologias sociais voltadas ao saneamento sustentável em contextos rurais. As dificuldades enfrentadas (como problemas estruturais nos sistemas hidráulicos, interferência de animais nas plantações de bananeiras e limitações logísticas para a construção) reforçam a necessidade de adaptações técnicas e planejamento contextualizado à realidade local. Por outro lado, a mobilização comunitária, a disponibilidade de materiais locais e o apoio institucional demonstraram-se como fatores facilitadores relevantes para o sucesso das intervenções.

O projeto destacou ainda a importância do monitoramento contínuo e do aprimoramento técnico dos sistemas instalados, como a medição do volume de esgoto e a melhoria dos dispositivos de coleta e avaliação de resíduos. A experiência gerada tem potencial para contribuir com o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias mais eficazes de saneamento rural, respeitando as especificidades socioculturais e ambientais das comunidades quilombolas. De forma geral, conclui-se que os TEvap representam uma alternativa viável e sustentável, desde que acompanhados de suporte técnico, capacitação local e ações de gestão integrada.

Agradecimentos

À todas as famílias das comunidades envolvidas, pele apoio e colaboração com este estudo. Agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa concedida à primeira autora. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa Bolsas Brasil PAEC OEA-GCUB (Organização de Estados Americanos – Grupo Coimbra) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão de bolsa a segunda autora. Ao Ministério Público de Goiás (MP/GO) pelo financiamento do projeto TradSan.

Referências Bibliográficas

Arias, F. El proyecto de investigación. 2012. **Introducción a la metodología Científica**. 6. ed. Editorial Episteme.

Batista, L. M.; Neu, V. 2024. Olhares para o sanear: as percepções de ribeirinhos sobre uma experiência com tecnologias sociais na Amazônia oriental. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 26, p. 22-32.

Cruz, I.S. et al. 2020. Estudo comparativo das condições de saneamento básico em duas comunidades do município de Campinas/SP. Revista Brasileira de Desenvolvimento, v. 6, n. 10, p. 38984–39003.

Jegatheesan, V. et al. 2022. Co-development of an integrated assessment framework to evaluate the effectiveness and impact of selected nature-based water treatment technologies in Sri Lanka, The Philippines, and Vietnam. Environmental Quality Management, v. 32, n. 3, p. 335-365.

Oliveira, C.G. et al. 2020. Disseminação de tecnologias sociais para tratamento de esgoto doméstico na zona rural de Princesa Isabel-PB e Região. Revista Práxis: Saberes da Extensão, v. 18, p. 99-114.

Otunola, B.O.; Zhou, L. 2024. The impacts of septic tanks and pits latrines on soil and water in peri-urban areas of Africa. International Journal of Sustainable Development and Planning, Southampton, v. 19, n. 7, p. 2779–2787.

Paulo, P.L.; Galbiati, A.F.; Magalhães Filho, F.J.C.; Bernardes, F.S.; Carvalho, G.A.; Boncz, M.Á. 2019. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. Resources, Conservation and Recycling, v. 147, p. 61-66.

Santos, T.G.R.; Santana, A.S., 2021. Gestão comunitária da água: soluções e dificuldades do saneamento rural no Brasil. Portal Saneamento Básico, v. 4, n. 1, p. 25–40.

Silva, N.S.; Zanta, V.M.; Queiroz, L.M. 2023. Aceitação de tecnologias de tratamento de esgotos considerando os marcos referenciais do programa nacional de saneamento rural: uma experiência em comunidade do Recôncavo da Bahia, Brasil. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 20, n. 62, p. 1–15.

Silveira Junior, L.B.; Lobão, J.K.C.; Siqueira, R.A. 2024. Desafios na implementação de infraestrutura de saneamento básico em áreas rurais e remotas. Revista F&T, v. 12, p. 45–60.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. 2023. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

Vale, G.B.; Ruggeri Junior, H.C.; Scalize, P.S. 2022. Service and precariousness of sanitary sewage in rural communities in the state of Goiás, Brazil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, p. 1067-1075.

— RESUMOS —

Saúde Pública: Doenças, Controle de Vetores, Epidemiologia, Vigilância Sanitária e Salubridade Ambiental

8º SSS

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CLOROFILA EN *CHLORELLA VULGARIS* MEDIANTE EL USO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE NITRÓGENO

1Ana Paola Rochefort García, 2Mariel Romero Muñoz, 3Diego Antonio Veloz Briones, 4Pilar del Rubí Almanza Aguilera, 5Paulina Nava Correa, 6Giovanni Emmanuel Rodríguez González, 7Maysa Malva, 8Ayodeji Jabar Adebisi

1ITESM, A01705552@tec.mx, 2ITESM A01710222@tec.mx, 3ITESM A01705886@tec.mx,4ITESM A01352614@tec.mx, 5ITESM A01710647@tec.mx, 6TESM A00572604@tec.mx, 7UNESP maysa.malva@unesp.br, 8UNESP Adebisi.ayodeji@unesp.br

Palabras clave: *Chlorella vulgaris, fotobiorreactor, nitrógeno, sobrecompensación*

Introducción

Esta investigación explora la optimización de *Chlorella vulgaris* a través de la manipulación de fuentes de nitrógeno como nitrato de sodio y urea con el objetivo de incrementar la producción de clorofila en fotobioreactores para su uso en el control de vectores biológicos. La relevancia de este estudio radica no solo en mejorar la eficiencia de producción de metabolitos, sino también en abordar un creciente desafío de salud pública: el control biológico de mosquitos vectores de enfermedades. Las intervenciones tradicionales por agentes químicos han enfrentado un escrutinio ecológico, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles. Las especies reactivas de oxígeno (ROS), producidas bajo exposición a la luz por derivados solubles en agua de clorofila, han demostrado ser efectivas para inducir apoptosis en larvas de mosquito, ofreciendo así una alternativa prometedora como bioinsecticida (Azizullah et al., 2014; da Silva Ferreira & Sant'Anna, 2017). El nitrato de sodio es utilizado convencionalmente en el cultivo de algas, hallazgos recientes sugieren que la urea puede inducir una mayor generación de biomasa y acumulación de clorofila en la célula (El-Sheekh et al., 2004; Serpa & Calderón, 2006). En este estudio se aplica una estrategia de sobrecompensación de nitrógeno, que busca aumentar la producción de metabolitos nitrogenados (Rubio, 2018). Además, se implementa una fuente de luz roja para estimular selectivamente la producción de clorofila tipo a (Habibi & Sibi, 2019). Asimismo, se integran parámetros de ingeniería mediante el uso de fotobiorreactores de panel plano, utilizados por su eficiencia en la captura de luz y su adaptabilidad (Martínez et al., 2020). Sin embargo, la implementación a gran escala sigue presentando desafíos relacionados con la demanda energética, la bioincrustación y la rentabilidad (Maroneze et al., 2021). La caracterización hidrodinámica de los biorreactores garantiza la reproducibilidad y el control ambiental preciso. Este proyecto se alinea con varios ODS, destacando el ODS 3, ODS 12 y ODS 13, al proponer un enfoque biológico para el control de vectores y enfatizar el cumplimiento de regulaciones sanitarias y ambientales (NOM-065-SSA1-1993, NOM-052-SEMARNAT-2005).

Metodología

El diseño experimental de este estudio [***Figura 1***] se enfocó en comparar el efecto de dos fuentes de nitrógeno, nitrato de sodio y urea, sobre la producción de clorofila y proteína en cultivos de *C. vulgaris,* empleando la técnica de sobrecompensación de nitrógeno. Para ello se utilizaron tres fotobiorreactores (FBR) tipo Flat Panel de 4.5 L cada uno: 1) Un control, con medio basal de Bold (BBM) sin modificaciones; 2) Un grupo con BBM suplementado con nitrato de sodio y 3) otro suplementado con urea. Para el tratamiento con $NaNO_3$ se utilizó una concentración al 0.125 g/L, con un aumento después de una semana de cultivo a 1.25 g/L. Se usó una concentración de 0.0883 g/L de urea con un aumento después de una semana a 0.883 g/L. Posterior a la preparación de los medios, se inocularon los FBRs con 460 mL de 50,000 células de *C. vulgaris* por mililitro previamente cultivadas en condiciones óptimas. El cultivo de las microalgas en los FBRs se llevó a cabo por dos semanas, controlando condiciones como la temperatura, pH, aireación e iluminación roja con un fotoperiodo de 12 h con exposición lumínica y 12 h de oscuridad; durante ese periodo de tiempo, realizaron muestreos periódicos de cada uno de los grupos para la medición de biomasa (densidad óptica y conteo celular) y pH. El contenido de proteínas en la biomasa se determinó utilizando el método de Bradford y la concentración de clorofila a y b se evaluó mediante espectrofotometría, aplicando el método tricromático.

Para el análisis de resultados se realizó una prueba ANOVA para OD 590 nm, conteo celular, pH y proteína, mientras que para la comparación en la concentración de clorofila se usó la prueba T-student; como parámetro se impuso un p-value < 0.05.

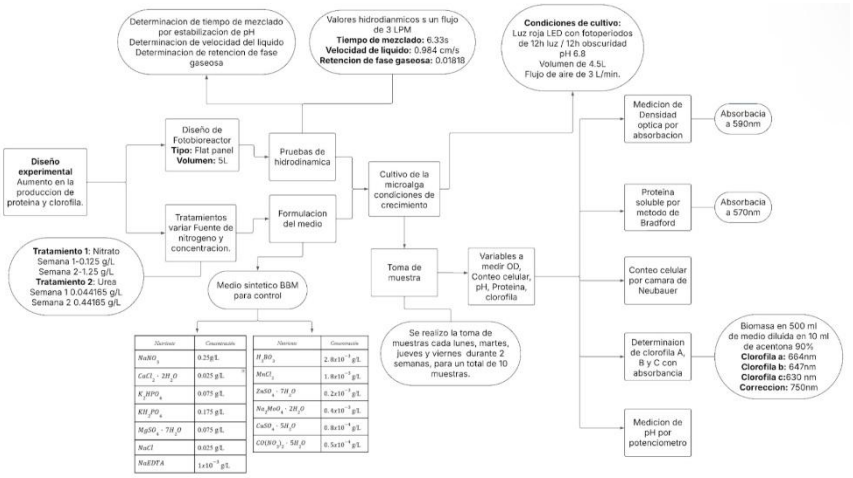


Figura 1. Diagrama global enlistando los pasos a seguir para la realización de este proyecto.

Resultados y discusión

Para determinar la cantidad de proteína total por el método de Bradford, se realizó un promedio de la absorbancia medida a 595 nm de cada muestra y su duplicado, al cual se restó el valor de absorbancia del medio sin inocular para así obtener la absorbancia real. Se utilizó una curva patrón de albúmina bovina como referencia. La ecuación 1 describe la regresión lineal que se utilizó para corregir la absorbancia medida y realizar la conversión a miligramos de proteína por litro de medio.

$$y = 0.0085x+0.0113 \quad (1)$$ Donde "y" es la concentración de proteína en mg/L y "x" la absorbancia real.

El análisis demostró que el medio de cultivo con mayor cantidad de proteína fue el medio de nitrato. No obstante, esta medida se ve influenciada por la cantidad de biomasa extraída en cada muestra, por lo que no puede ser tomada como referente para la cantidad de proteína [***Figura 2***].

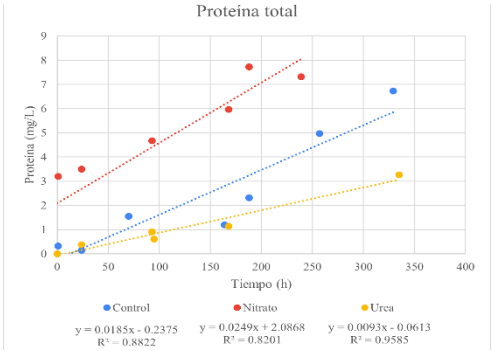


Figura 2. Gráfico de dispersión de la proteína total generada en cada fotobiorreactor (mg/L) vs. tiempo.

Las mediciones de proteína coinciden con la cantidad de biomasa obtenida, siendo el medio de nitrato aquel con mayor cantidad de proteína y biomasa, mientras que el medio de urea fue aquel con menor proporción en ambos análisis. Por otro lado, puede identificarse que el cultivo de nitrato es aquel con una mayor pendiente. Lo que indica que su producción de proteína con respecto al tiempo es la mayor. El ANOVA evidenció efectos estadísticamente significativos tanto del tiempo de cultivo ($p = 0.002$) como del tipo de medio ($p = 0.006$), concluyendo que con un 95% de confianza, existen diferencias significativas en los valores de proteína según las condiciones evaluadas. Los datos cumplieron con los supuestos de homogeneidad y normalidad, por lo que se aplicó la prueba de Fisher, la cual identificó al medio con nitrato como significativamente diferente en términos de contenido proteico. Para el contenido de proteína celular, solo el tipo de medio mostró diferencias significativas, lo cual es esperable, ya que los cambios diarios en este parámetro suelen ser mínimos y no alcanzan a ser detectables estadísticamente. Al no cumplirse totalmente la normalidad, se usó la prueba de Tukey, que confirmó diferencias entre los medios respecto al control ($p < 0.05$).

Por su parte, la producción de clorofila presentó diferencias significativas según la fuente de nitrógeno utilizada [***Figura 3***], lo cual se reflejó en las concentraciones de clorofila a y b. El tratamiento con urea resultó en las concentraciones más altas, con 378.6964 µg/L de clorofila a y 68.9477 µg/L de clorofila b, lo que sugiere que esta fuente de nitrógeno podría favorecer una mayor eficiencia fotosintética y una mejor capacidad de captación de luz. En contraste, el tratamiento control registró las concentraciones más bajas, con 324.4251 µg/L de clorofila a y 11.99257 µg/L de clorofila b. Por su parte, el tratamiento con nitrato de sodio mostró valores intermedios: 164.5122 µg/L para clorofila a y 14.7725 µg/L para clorofila b.

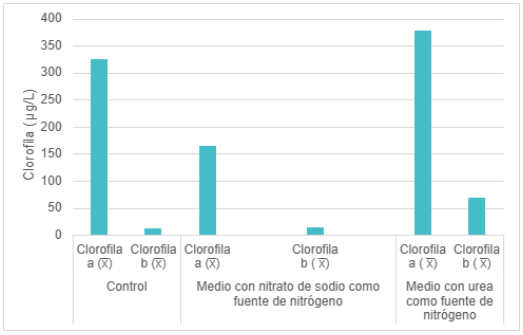


Figura 3. Histograma comparativo de la producción de clorofila a y b en los distintos tratamientos

Al determinar la proteína por célula, se encontró que el medio de urea fue aquel con mayor producción. Esto corresponde con lo reportado por El-Sheekh et al. (2004), donde la comparación de diferentes fuentes de nitrógeno demostró que la urea es mejor para el aumento de la proteína total y la producción de biomasa. Dentro del género *Chlorella* la enzima Urea amidoliasa consume una molécula de ATP para la descomposición de urea en alofanato para poder asimilar la urea como fuente de nitrógeno. Esto permitiría que la microalga pueda producir altas cantidades de proteína y de biomasa en un menor tiempo. Sin embargo, se deben de considerar otros factores como la presencia del amoniaco en el medio. Como intermediario en la ruta de asimilación de la urea, se encuentra el ion amonio, que, en presencia de agua y pH menor a 9.25 genera amoniaco, un compuesto toxico para las microalgas que llega a inhibir el crecimiento de estas mismas porque genera desbalance de iones en las células. Se ha encontrado que la resistencia a la inhibición por amonio en C*hlorella vulgaris* depende fuertemente de la cepa utilizada (Wang et al., 2019). Esto explica por qué se obtuvo una alta cantidad de proteína por célula, especialmente en el tratamiento de urea, pero no una gran cantidad de biomasa al final de los tratamientos. Se obtuvieron altos niveles de clorofila a apesar de tener poca producción de biomasa, esto se puede explicar por qué la urea también estimula la sobre expresión de clorofila, aunque el principal factor en la producción de clorofila es el tipo de luz utilizada. En el estudio de Daliry et al. (2017) se detallan las condiciones óptimas para el crecimiento y obtención de productos de interés de Chlorella vulgaris, dentro del estudio se expone que la luz roja (630-665nm de longitud de onda) es el tipo de luz que promueve una mayor producción de clorofila a, ya que este tipo de clorofila es el que absorbe luz roja.

Agradecimientos

ITESM: Dra. Alejandra Lorena San Martín Azócar, Dra. Ilse Yazmin Arciniega Carreón y el Dr. Alejandro Olmos Dichara. UNESP: Dra. Graziele Ruas.

Referências Bibliográficas

Azizullah, A., Rehman, Z. U., Ali, I., Murad, W., Muhammad, N., Ullah, W., & Häder, D. (2014). Chlorophyll derivatives can be an efficient weapon in the fight against dengue. Parasitology Research, 113(12), 4321–4326. https://doi.org/10.1007/s00436-014-4175-3

Daliry, S., Hallajsani, A., Roshandeh, J. M., Nouri, H., & Golzary, A. (2017). Investigation of optimal condition for Chlorella vulgaris microalgae growth. Global Journal of Environmental Science and Management, 3(2), 217–230. https://doi.org/10.22034/gjesm.2017.03.02.010

Da Silva, V., & Sant'Anna, C. (2016). Impact of culture conditions on the chlorophyll content of microalgae for biotechnological applications. WJMB, 33(1). https://doi.org/10.1007/s11274-016-2181-6

El-Sheekh, M., Eladel, H., Battah, M. y Abd, S. (2004). Effect of different nitrogen sources on growth and biochemical composition of the green microalgae Scenedesmus obliquus and Chlorella kessleri. 3rd Int. Confer. Biol. Sci. Tanta, Vol: 3.

Habibi, R. & Sibi, G. (2019) Light Emitting Diode (LED) Illumination for Enhanced Growth and Cellular Composition in Three Microalgae. DOI:10.24966/AMR-694X/100007

Maroneze, M. M., Herrera, C. A. M., & Jiménez, A. M. (2021). Perspectivas sobre los sistemas de cultivo de microalgas: una revisión crítica. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. BioTecnología, Año 2021, Vol. 25 No.5. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/12/Manzoni-Maroneze-et-al.-2021.pdf

Wang, J., Zhou, W., Chen, H., Zhan, J., He, C., & Wang, Q. (2019). Ammonium nitrogen tolerant chlorella strain screening and its damaging effects on photosynthesis. Frontiers in Microbiology, 9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03250.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Saúde Pública: Doenças, Controle de Vetores, Epidemiologia, Vigilância Sanitária e Salubridade Ambiental

8º SSS

IMPACTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA SAÚDE PÚBLICA: UMA REVISÃO DAS DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA NO BRASIL

1Fabiana Sara Coutinho da Costa, 2Waleska Martins Eloi

1Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, e-mail: sara.costacou@hotmail; 2Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, e-mail: waleska@ifce.edu.br

Palavras-chave: Saúde ambiental; Epidemiologia das doenças hídricas; Saneamento básico.

Resumo

A qualidade da água é um indicador de saúde pública, especialmente em regiões com infraestrutura de saneamento inadequada, sendo um fator que influencia diretamente o bem-estar das populações. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática das doenças de veiculação hídrica no Brasil, abrangendo os últimos dez anos, com o objetivo de avaliar a relação entre a qualidade da água e a ocorrência dessas doenças. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica, utilizando a base de dados Scopus e selecionando artigos publicados em revistas de alto impacto. Os critérios de inclusão abrangeram estudos observacionais e experimentais relacionados à qualidade da água e doenças de veiculação hídrica no Brasil. Os artigos foram selecionados utilizando o *Methodi Ordinatio*, que considera fatores como o impacto da revista, número de citações e qualidade metodológica dos estudos. A análise revelou uma correlação significativa entre a baixa qualidade da água e o aumento da incidência de doenças como diarreia, hepatite A, infecções por coliformes e outras infecções gastrointestinais. Os principais fatores identificados foram poluição dos corpos hídricos, tratamento inadequado da água e falta de acesso ao saneamento básico. Este estudo evidencia a necessidade de melhorias nas políticas públicas de saneamento e tratamento de água no Brasil. A implementação de medidas eficazes de controle e monitoramento da qualidade da água é fundamental para reduzir a incidência de doenças de veiculação hídrica e promover a saúde pública.

Introdução

A água é reconhecida como um recurso fundamental para a vida humana, tanto na dimensão biológica quanto social. Utilizada em atividades diversas, como agricultura, pecuária, indústria e serviços, sua abundância ou escassez pode influenciar os hábitos de consumo de uma comunidade. A disponibilidade de água potável está diretamente ligada ao desenvolvimento da população, sendo um indicador de progresso e um direito humano fundamental, essencial para o exercício de outros direitos (LUCENA et al, 2013).

No Brasil, um país com grande diversidade regional, a disponibilidade e a qualidade da água variam consideravelmente entre as regiões, influenciando diretamente as condições de saúde da população (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). Apontando a sim que, a escassez de água e a má qualidade da água distribuída estão associadas a um aumento significativo de doenças de veiculação hídrica (RAZZOLINI e GÜNTHER, 2008). Estas doenças podem ser causadas principalmente por microrganismos patogênicos, químicos ou outros contaminantes. Além disso, o tratamento inadequado da água distribuída à população pode levar a surtos epidêmicos e à disseminação dessas doenças (FUNASA, 2010).

Mesmo sendo um país com boa disponibilidade hídrica, o Brasil enfrenta desafios importantes em relação à qualidade da água consumida por suas populações. Embora a maioria das cidades brasileiras possuam sistemas de abastecimento de água, a qualidade desta água nem sempre é garantida, principalmente em regiões periféricas e em áreas rurais, onde a infraestrutura de saneamento básico é precária. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), indicam que uma parcela específica da população ainda não tem acesso à água tratada de forma eficiente, e muitos sistemas de distribuição não são adequados. Ressalta-se também, a poluição dos corpos hídricos d'água, causada por esgoto não tratado, resíduos industriais e pesticidas usados na agricultura, que representam uma ameaça constante à qualidade da água.

São mais de 33 milhões de brasileiros que não possuem acesso à água potável e mais 93 milhões sem coleta de esgoto (TRATA BRASIL, 2023). Como consequência, as populações mais vulneráveis, especialmente aquelas em regiões pobres e periféricas, são as mais afetadas por esses problemas. A falta de acesso à água potável de qualidade e ao saneamento básico cria um círculo vicioso de pobreza e doenças, afetando principalmente as crianças que são mais suscetíveis a doenças transmitidas pela água (TRATA BRASIL, 2024). Observa-se que a contaminação da água agrava as disparidades regionais no país, com algumas áreas enfrentando um risco maior de surtos que outras, mesmo em locais com melhores condições, onde os sistemas de monitoramento são falhos.

Ao reforçar a importância da qualidade da água na saúde pública, este estudo visa não apenas fornecer dados e informações científicas, mas também contribuir para a sensibilização social e a implementação de políticas públicas que garantam o direito ao acesso à água com qualidade. Assim, o objetivo geral da pesquisa foi analisar a relação entre a qualidade da água e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica no Brasil nos últimos dez anos, a partir de uma revisão sistemática da literatura.

Metodologia

A revisão sistemática da literatura foi a estratégia central para analisar dados sobre a qualidade da água e suas implicações para a saúde pública, com foco nas doenças de veiculação hídrica no Brasil. Esta abordagem permitiu integrar artigos de

periódicos revisados por pares, trabalhos científicos que foram avaliados e comentados por especialistas da mesma área de conhecimento, para obter uma visão abrangente e atualizada do estudo da pesquisa sobre o tema. Os artigos foram selecionados usando a metodologia do *Methodi Ordinatio* proposta por Pagani, Kovaleski e Resende (2015*)*, uma técnica objetiva para selecionar e classificar artigos em revisões sistemáticas. Este método considera fatores como o impacto da revista, o número de citações e a qualidade metodológica dos estudos, garantindo que apenas artigos de fontes cientificas reconhecidas sejam incluídos na análise.

Selecionou-se os estudos que permitiram analisar a relação entre a qualidade da água e as doenças de veiculação hídrica, e sua aplicação foi discutida no contexto do seu impacto na saúde pública. Alguns filtros foram usados na pesquisa, como o fator tempo, no qual consideramos artigos dos últimos dez anos e o tipo de publicação, onde utilizamos os periódicos.

Os critérios considerados no ordenamento, dos parâmetros utilizados no *Methodi Ordinatio* para avaliar e classificar os artigos selecionados para a pesquisa incluem o fator de impacto da revista, o número de citações e a qualidade metodológica dos estudos. Conforme o *Methodi Ordinatio* abordamos a seguir o processo de ordenamento dos artigos selecionados para a pesquisa, descrevendo as etapas seguidas para garantir a qualidade e relevância dos estudos utilizados na análise. Este processo compreende desde a coleta inicial dos artigos até a atribuição de pontuações baseadas em critérios específicos, como o fator de impacto das revistas e o número de citações recebidas.

Coleta de Artigos: A busca por artigos foi realizada a partir da base de dados científicos *Scopus*. Inicialmente, todos os artigos que atendiam aos critérios gerais de inclusão foram selecionados. Após, a coleta dos artigos, a atribuição de pontuação foi a próxima etapa essencial para a avaliação dos estudos de acordo com o impacto da revista e a relevância científica. Esse processo visou garantir que os artigos com maior influência, publicados nas revistas mais prestigiadas, fossem priorizados. Cada artigo foi classificado com base no fator de impacto da revista onde foi publicado. O fator de impacto é uma medida quantitativa da frequência com que os artigos de uma revista são citados, refletindo sua importância e relevância na área de pesquisa. Revistas com fator de impacto maior são geralmente mais selecionadas e publicam artigos que são totalmente reconhecidos pela comunidade científica. Os artigos dessas revistas têm maior chance de serem mais robustos, com dados mais confiáveis e metodologias mais rigorosas. Já o número de citações recebidas por um artigo foi outro aspecto importante para a classificação, as citações indicam que o estudo teve impacto na área, sendo utilizado por outros pesquisadores como base para novas pesquisas.

Aplicação da fórmula *Index Ordinatio*: $InOr = \left(\frac{Fi}{1000}\right) + \alpha \cdot (2024 - Yi) + Ci.$

Onde: InOr é *Index Ordinatio* (o valor final que indica a relevância do artigo), Fi é fator de impacto da revista em que o artigo foi publicado, α é peso definido para o fator temporal (10 anos), Yi é ano de publicação do artigo, Ci é número de citações do artigo.

A busca inicial foi realizada em uma das principais bases de dados acadêmicos, a *Scopus*, utilizando as palavras-chaves utilizadas em inglês para a pesquisa: *public AND health, AND diseases, AND water, AND quality, AND brazil*. Os artigos foram identificados e selecionados com base nos critérios de inclusão e exclusão. Nessa fase, foram avaliados com mais rigor para determinar se realmente atendiam aos critérios necessários para serem incluídos na revisão, ou seja, deveriam se concentrar apenas em doenças de veiculação hídrica e qualidade da água no Brasil. Estudos observacionais, estudos experimentais ou estudos com modelos de análise foram considerados. Em função do tempo disponível para a pesquisa, utilizou-se apenas os 5 primeiros artigos mais relevantes da pesquisa. Na Figura 1 ilustra-se o fluxograma construído com base na busca por artigos científicos para a revisão sistemática.

Os dados extraídos foram organizados em uma planilha para garantir que todas as informações fossem sistematicamente registradas, a fim de padronizar os dados mais relevantes de cada estudo para análise. Por último, foi realizada uma análise qualitativa dos resultados, focada na interpretação e compreensão dos dados qualitativos extraídos das publicações selecionadas.



Figura 1: Fluxograma de seleção dos artigos; Fonte: Autora, 2025

Resultados e discussões

Na Tabela 2 apresenta-se a classificação dos artigos conforme determinado pelo *Methodi Ordinatio* realizou uma busca sistemática de artigos científicos para avaliar a relação entre a qualidade da água e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica no Brasil, os 5 artigos que obtiveram o maior índice no resultado do *Ranking* obtido pelo *Methodi Ordinatio* foram analisados nesse estudo.

Tabela 2 - Ranking de trabalhos científicos selecionados seguindo o *Methodi Ordinatio*

Título	Ano da publicação	Revista	Ci	Fi	Inordination
Adenovírus humano (HAdV), enterovírus humano (hEV) e rotavírus do genogrupo A (GARV) em água de torneira no sul do Brasil	2014	Journal of Water and Health |	23	0,23	123,00
Profundidade e tipo de poço relacionados à contaminação microbiológica de águas subterrâneas	2016	International Journal of Environmental Research and Public Health	21	0,43	101,00
Classificação de doenças de veiculação hídrica e relação com fatores socioambientais na cidade de Florianópolis, sul do Brasil	2016	Journal of Water and Health	14	0,45	94,00
Doenças transmitidas pela água em catadores da Estrutural, Brasil, o segundo maior lixão a céu aberto do mundo	2019	Waste Management	27	0,75	77,00
Caracterização molecular e fenotípica de Escherichia coli diarreiogênica isolada de águas subterrâneas em áreas rurais do sul do Brasil	2019	Journal of Water and Health	5	0,35	55,00
Riscos à saúde em uma população do Cerrado brasileiro devido a patógenos transmitidos pelas condições de uso da água e do solo	2023	Water (Switzerland)	3	0,69	13,00
Metodologia para uma Avaliação Abrangente do Impacto na Saúde em Programas de Abastecimento de Água e Saneamento para o Brasil	2022	International Journal of Environmental Research and Public Health	1	0,1	21,00

Fonte: Autora, 2025

Na sequência, apresentamos a Tabela 3, que contém um resumo dos 5 artigos analisados, destacando as doenças encontradas, o local onde as pesquisas foram conduzidas e o período de estudo. Essa correlação possibilita entender a abrangência e a diversidade dos resultados obtidos, fornecendo uma visão das condições de saúde observadas nos diferentes contextos analisados.

Os estudos analisados revelam uma relação direta entre a qualidade da água e a incidência de diversas doenças em diferentes estados do Brasil. O estudo de Kluge *et al* (2014), realizado no Rio Grande do Sul, focou na contaminação viral da água de torneira por adenovírus, enterovírus e rotavírus, resultando em casos de gastroenterite. Este tipo de contaminação viral na água de torneira é relevante, pois indica segundo o autor falhas nos processos de desinfecção e monitoramento da água potável.

Comparando com o estudo de Maran *et al* (2016) em Mato Grosso do Sul, que investigaram a contaminação microbiológica das águas subterrâneas por coliformes totais e Escherichia coli, podemos observar que ambos os estudos destacam a vulnerabilidade das fontes de água à contaminação microbiológica, seja ela viral ou bacteriana. Em ambos os locais, a contaminação das fontes de água utilizada para consumo humano representa um sério risco à saúde pública, indicando a necessidade de monitoramento da água, utilização medidas preventivas como ferver a água e usar purificadores, ou conectar-se a uma concessionária local.

O estudo de Cesa *et al* (2016) em Florianópolis abrangeu o maior período entre os estudos analisados (2002-2009) e identificaram uma variedade de doenças relacionadas à água, incluindo doenças diarreicas, parasitárias e de pele. Este estudo destaca a importância dos fatores socioambientais na incidência dessas doenças, correlacionando a qualidade da água com as condições de saneamento e saúde pública. Quando comparado aos estudos de Kluge *et al* (2014) e Maran *et al* (2016), o estudo fornece uma perspectiva mais abrangente, considerando também as condições socioambientais que influenciam a saúde da população.

Tabela 3. Detalhamento dos artigos analisados: doenças encontradas, metodologia, local da pesquisa e período

Autor	Artigo	Doenças	Metodologia	Local	Ano
KLUGE *et al*, 2014	Adenovírus humano (HAdV) enterovírus humano (hEV) e rotavírus do genogrupo A (GARV) em água de torneira no sul do Brasil	Gastroenterite causada por Adenovírus, Enterovírus e Rotavírus	Foi analisada a presença de vírus em 73 amostras de água de torneira de escolas públicas em 6 municípios, utilizando a técnica de Reação em Cadeia da Polimerase. Adicionalmente, comparou-se a taxa de detecção viral com a porcentagem de tratamento de esgoto nesses locais, com dados do SNIS, e a relação entre essas variáveis foi avaliada por coeficientes de correlação no Microsoft Excel.	Rio Grande do Sul	2009
MARAN *et al*, 2016	Profundidade e tipo de poço relacionados às águas subterrâneas: Contaminação Microbiológica	Infecções e doenças transmitidas pela água, incluindo contaminação por coliformes totais e Escherichia coli	Foi analisada a qualidade da água de 66 poços domésticos em 2 cidades, analisando parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, incluindo a presença de coliformes totais e *E. coli*. A contagem bacteriana foi realizada por Plaqueamento em Ágar, e as colônias foram identificadas pelo sistema *VITEK 2 COMPACT* e testadas quanto à sua suscetibilidade a antimicrobianos.	Caarapó e Itaporã, Mato Grosso do Sul	2014
CESA *et al*, 2016	Classificação de doenças transmitidas pela água e relação com fatores socioambientais na cidade de Florianópolis - Sul do Brasil	Doenças diarréicas, parasitárias e de pele	Foi analisado dados de atendimentos ambulatoriais de 4 bairros e aplicou questionários em 695 domicílios para investigar a relação entre condições socioambientais (abastecimento de água, esgoto, inundações, limpeza de reservatórios) e a ocorrência de doenças diarreicas, parasitológicas, de pele e oculares. A significância dessas relações foi avaliada por meio de análise estatística, utilizando o teste de correlação de Pearson GraphPad Prism 5.0.	Florianópolis Santa Catarina	2002-2009
CRUVINEL *et al*, 2019	Doenças transmitidas pela água em catadores da Estrutural, Brasil, segundo maior lixão a céu aberto do mundo	Diarreia, vermes intestinais, hepatite A, leptospirose	Participaram 1025 catadores maiores de 18 anos, com mais de seis meses de atividade e registrados no sistema da Urban Cleaning Service. Utilizou-se um questionário estruturado (FormSUS) para coletar dados demográficos, socioeconômicos, sanitários, de trabalho, saúde e acesso a cuidados de saúde, com entrevistas registradas em tablets. Os dados quantitativos foram analisados por estatísticas descritivas e inferenciais (qui-quadrado e regressão logística), enquanto os dados qualitativos por framework fenomenológico.	Estrutural, Brasília	2017-2019
SILVA *et al*, 2019	Caracterização molecular e fenotípica de Escherichia coli diarreiogênica isolada de águas subterrâneas em áreas rurais do Sul do Brasil	Gastroenterite induzida por Escherichia coli diarreiogênica (DEC)	Foram coletadas 210 amostras de água não tratada de poços rasos e minas em áreas rurais, as quais foram transportadas em vidros estéreis, a 4°C, em até 6 horas. A detecção e quantificação de coliformes totais e *E. coli* foram feitas pelo método Colilert (NMP). As cepas de *E. coli* identificadas passaram por caracterizações fenotípicas e genotípicas para identificar genes de virulência de DEC, avaliar o efeito citotóxico (para STEC) e testar a resistência a antibióticos.	Paraná	2017

Fonte: Autora, 2025

No caso do estudo de Cruvinel *et al* (2019), que focaram nos catadores de lixo da Estrutural em Brasília, a prevalência de doenças como diarreia, vermes intestinais, hepatite A e leptospirose evidencia as condições insalubres enfrentadas por essa população vulnerável. Este estudo destaca a necessidade de intervenções para melhorar as condições sanitárias e de abastecimento de água nessas comunidades. Quando comparado aos outros estudos, observa-se que a vulnerabilidade das

populações impacta diretamente a incidência de doenças de veiculação hídrica, reforçando a importância das políticas públicas voltadas para a melhoria do saneamento básico.

Finalmente, o estudo de Silva *et al* (2019) investigaram a presença de Escherichia coli diarreiogênica em águas subterrâneas nas áreas rurais do Paraná, revelando uma alta incidência de genes de E. coli patogênica. Essa contaminação das águas subterrâneas, similar à observada por Maran *et al* (2016), destacam a importância de práticas pecuárias sustentáveis e de um distanciamento adequado de fossas sépticas para prevenir doenças de veiculação hídrica.

Os estudos analisados apontam que as doenças de veiculação hídrica, sejam virais, bacterianas ou parasitárias, são frequentes em locais com infraestrutura de saneamento inadequada. A implementação de políticas públicas eficazes para melhorar a qualidade da água e o acesso a sistemas de saneamento é essencial para reduzir a ocorrência dessas doenças e promover a saúde pública em todo o país.

Considerações finais

Os resultados deste estudo ressaltam a necessidade urgente de melhorias na gestão e o acesso ao tratamento da água no Brasil. Apesar dos avanços em infraestrutura de saneamento em algumas regiões, há evidências de que as medidas atuais são insuficientes para garantir a qualidade da água e a saúde das populações. Assim destaca-se com base nos estudos analisados que:

Vírus em Água Tratada: A presença de adenovírus, enterovírus e rotavírus em água tratada nas escolas do Rio Grande do Sul indica que os processos convencionais de tratamento de água não são completamente eficazes contra esses patógenos. É essencial aprimorar as técnicas de desinfecção para assegurar a eliminação total desses vírus e proteger a saúde das crianças.

Contaminação Microbiológica em Águas Subterrâneas: A contaminação por coliformes totais e Escherichia coli em poços de Caarapó e Itaporã evidencia uma falha na segurança da água subterrânea consumida pela população. É importante implementar medidas rigorosas de proteção e tratamento da água para prevenir infecções e garantir a potabilidade, além de conscientizar a população e ligar-se à concessionária já existente no local.

Fatores Socioambientais e Doenças de Veiculação Hídrica: A correlação entre fatores socioambientais e a ocorrência de doenças em Florianópolis destaca a importância de políticas públicas integradas que melhorem a infraestrutura de saneamento e promovam a saúde pública. A falta de acesso à água potável e saneamento adequado, especialmente em áreas vulneráveis, continua a ser um desafio significativo.

Doenças em Populações Vulneráveis: A alta ocorrência de doenças de veiculação hídrica entre os catadores de lixo na Estrutural, em Brasília, aponta para as condições insalubres e os riscos ocupacionais enfrentados por essa população. Há uma necessidade urgente de intervenções direcionadas para melhorar o abastecimento de água e as condições sanitárias dessas comunidades.

Transmissão de DEC em Águas Subterrâneas: A análise detalhada das águas subterrâneas nas áreas rurais do sul do Brasil revela uma alta incidência de Escherichia coli diarreica, indicando um sério risco à saúde pública. O uso pecuário do solo e sistemas de fossa séptica doméstica, demandam urgentes melhorias na pecuária sustentável e controle de qualidade da água para garantir a segurança das populações rurais.

Com base nos resultados apresentados, fica evidente que a qualidade da água é um dos pilares essenciais para a promoção de saúde pública e bem-estar no Brasil. Cada estudo analisado, seja em áreas urbanas ou rurais, revela a complexa interação entre infraestrutura de saneamento, práticas de tratamento de água e os fatores socioambientais. Assim, entende-se que a água não é apenas um recurso vital, mas também um reflexo das condições de vida e da eficácia das políticas públicas. Ao enfrentar esses desafios com inovação, compromisso e ação coletiva, podemos assegurar que a água limpa e segura não seja um privilégio, mas um direito universal garantido para todos os brasileiros.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde**. Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2010. 246 p.

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.

CESA, M.; FONGARO, G.; BARARDI, C. R. M.; 2016. **Waterborne diseases classification and relationship with social-environmental factors in Florianópolis city.** Southern Brazil. Journal of Water and Health v.14(2), pp.340-348.

CRUVINEL, V. R. N.; ZOLNIKOV, T. R.; BASHASH, M.; MARQUES, B. P.; SCOTT, J. A.; 2019. **Waterborne diseases in waste pickers of Estrutural, Brazil, the second largest open-air dumpsite in world.** Waste Management, v.99, pp.71–78.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **72% da população abaixo da linha da pobreza vive em moradias sem abastecimento regular de água, 06 de fevereiro de 2024.** Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/72-da-populacao-abaixo-da-linha-da-pobreza-vive-em-moradias-sem-abastecimento-regular-de-agua/>. Acessado em: 14 de fevereiro de 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Precariedade do saneamento básico expõe a população a diversas doenças, 14 de dezembro de 2023.** Disponível em: < https://tratabrasil.org.br/precariedade-do-saneamento-basico-expoe-a-populacao-a-diversas-doencas/>. Acessado em: 14 de fevereiro de 2024.

KLIGERMAN, D. C.; CARDOSO, T. A. D. O.; COHEN, S. C.; AZEVEDO, D. C. B. de; TOLEDO, G. de A.; AZEVEDO, A. P. C. B. de; CHARLESWORTH, S. M.; 2022. **Methodology for a Comprehensive Health Impact Assessment in Water Supply and Sanitation Programmes for Brazil.** Int. J. Environ. Res. Public Health , v.19, n.12776, pp.1-26.

KLUGE, M.; FLECK, J. D.; SOLIMAN, M. C.; LUZ, R. B.; FABRES, R. B.; COMERLATO, J.; SILVA, J. V. S.; STAGGEMEIER, R.; VECCHIA, A. D.; CAPALONGA, R.; OLIVEIRA, A. B.; HENZEL, A.; RIGOTTO C.; SPILKI, F. R.; 2014. **Human adenovirus (HAdV), human enterovirus (hEV), and genogroup A rotavirus (GARV) in tap water in southern Brazil.** Journal of Water and Health, v.12, n.3, pp.526-532.

LUCENA, R.G.R.; RAZZOLINI, M. T. P.; MENEZES, L. M. B.; MARQUES, R. A. A.; NARVAI, P. C.; 2013. **Significados da água na visão de lideranças de saúde.** Saúde Soc. São Paulo, v.22, n.4, p.1193-1204.

MARAN, N. H.; CRISPIM, B. do A.; IAHNN, S. R..; ARAÚJO, R. P. de; GRISOLIA, A. B.; OLIVEIRA, K. M. P. de; 2016. **Depth and Well Type Related to Groundwater Microbiological Contamination.** Int. J. Environ. Res. Public Health v.13, n.1036, pp.1-9.

MARQUES, Liliane Aparecida da Silva; FERREIRA ALVES, Alessandro; FROGERI, Rodrigo Franklin; BRISOLA, Elisa Maria Andrade; SILVA, Ariovaldo Francisco. **Políticas públicas no saneamento básico: Reflexos socioeconômicos no Sul de Minas Gerais. Interação** - Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 16–33, 2022. DOI: 10.33836/interacao.v24i1.645. Disponível em: https://ojs.periodicos.unis.edu.br/interacao/article/view/645. Acesso em: 29 jan. 2025.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. de; 2017. **Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura.** Ci.Inf., Brasília, DF, v.46 n.2, pp.161-187. Disponível em: < https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1886>. Acessado em: 17 fev. de 2025.

RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R.; 2008. **Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água.** Saúde Soc. São Paulo, v.17, n.1, pp.21-32.

SILVA, C. R. da; SANCHES, M. S.; MACEDO, K. H.; DAMBROZIO, A. M. L.; ROCHA, S. P. D. da; NAVARRO, A.; PELAYO, J. S.; 2019. **Molecular and phenotypic characterization of diarrheagenic Escherichia coli isolated from groundwater in rural areas in southern Brazil.** Journal of Water and Health, v.17, n.4, pp.597-608.

SILVA, D. P. da.; BEZERRA, N. R.; BASSO, R. E.; VIEIRA, M. da N.; SCALIZE, P. S.; 2023. **Health Risks in a Brazilian Cerrado Population Due to Pathogens Transmitted through Water and Land Use Conditions.** Water, v.15, n.158, pp.1-16.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Abastecimento de Água.** Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em: 23 de jan. 2025.

— RESUMOS —

Sistemas de Drenagem Sustentáveis



8º SSS

INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE VIABILIDADE EM POÇOS DE CALDAS

1Tamiris Cristina da Silva, 2Lethicia Isabelle Giroldi de Alexandre, 3Melissa Pádua Paulino de Souza, 4Gustavo Reis Machado

1Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e-mail: tamirissilva22@gmail.com; 2Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e-mail: lethicia.alexandre@sga.pucminas.br; 3Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e-mail: melissa.padua@sga.pucminas.br; 4Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e-mail: gustavo.reism1@gmail.com

Palavras-Chave: Infraestrutura verde; jardim de chuva; biovaleta.

Resumo

Este trabalho investiga a viabilidade da implementação de infraestruturas verdes e azuis na Avenida João Pinheiro, em Poços de Caldas, abordando soluções como jardins de chuva, biovaletas e pavimentos permeáveis para minimizar enchentes e a degradação da qualidade da água. A pesquisa combina revisão bibliográfica, estudos de caso brasileiros e observações em campo para demonstrar o potencial dessas técnicas na melhoria da gestão das águas pluviais e da qualidade ambiental. Além disso, discute os desafios enfrentados na adoção dessas estratégias, como a necessidade de um planejamento urbano alinhado à conservação ambiental, a resistência à mudança de infraestrutura e a falta de conhecimento técnico especializado.

Introdução

A urbanização crescente ao redor dos rios intensifica o escoamento superficial, resultando em enchentes frequentes e degradação da qualidade da água. A predominância de superfícies impermeáveis nas cidades compromete a infiltração natural da chuva, sobrecarregando os sistemas de drenagem convencionais. Como alternativa, infraestruturas verdes e azuis, como zonas ripárias restauradas, parques lineares e pavimentos permeáveis, oferecem soluções sustentáveis para retenção e filtragem da água pluvial, promovendo a preservação ambiental e a resiliência urbana (PAUL & MEYER, 2001).

Entretanto, a drenagem tradicional baseada em canalizações e superfícies impermeáveis intensifica impactos negativos, como inundações e poluição hídrica, prejudicando os ecossistemas urbanos (RUTIGLIANI; MATTOS; VERÓL, 2023). Diante desse cenário, este estudo avalia a viabilidade da implementação de infraestruturas verdes e azuis na Avenida João Pinheiro, em Poços de Caldas, MG, como alternativa para mitigar alagamentos, melhorar a drenagem e reduzir a poluição do Rio das Antas. A pesquisa analisa o potencial de soluções como jardins de chuva, biovaletas e pavimentos permeáveis, discutindo seus benefícios e desafios de implementação.

Desenvolvimento do Estudo

O Rio das Antas, originário do Planalto de Poços de Caldas, atravessa áreas urbanas da cidade, incluindo a Avenida João Pinheiro, uma das principais vias do município. Além do alto fluxo de veículos, essa avenida é um espaço público relevante para lazer e mobilidade urbana. No entanto, sua proximidade com o rio e a falta de infraestrutura de drenagem adequada resultam em alagamentos recorrentes durante chuvas intensas. A impermeabilização do solo e a ausência de áreas de infiltração agravam o problema, sobrecarregando o sistema de drenagem e contribuindo para a contaminação do rio por poluentes urbanos (POÇOS NA REDE, 2020). A Figura 1 ilustra essa relação, destacando áreas críticas de alagamento e a falta de vegetação marginal para retenção do escoamento superficial. A ausência de infraestruturas verdes e azuis na via reforça a necessidade de soluções sustentáveis, como jardins de chuva e biovaletas, para melhorar a drenagem e reduzir a sobrecarga no sistema de escoamento.



Figura 1: Fluxo de pedestres e veículos na Avenida João Pinheiro, às margens do Rio das Antas.
Fonte: Registro dos autores (2024)

Atualmente, apesar das intervenções urbanísticas voltadas para melhorias paisagísticas e estruturais, a Avenida João Pinheiro ainda necessita de soluções sustentáveis para a gestão das águas pluviais. O uso de infraestruturas verdes e azuis, como jardins de chuva, biovaletas e pavimentos permeáveis, poderia reduzir significativamente os alagamentos e melhorar a qualidade da água do Rio das Antas. No entanto, desafios como a falta de conhecimento técnico, a preferência por soluções convencionais e a necessidade de um planejamento urbano colaborativo dificultam sua adoção (PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS, 2024). Para compreender a aplicabilidade dessas infraestruturas, foram analisados estudos de caso que demonstram seus benefícios em contextos urbanos. No Rio Comprido (RJ), parques e bacias de retenção ajudaram a mitigar enchentes e revitalizar áreas degradadas (GUIMARÃES et al., 2018), enquanto em Santo André (SP), soluções baseadas na natureza reduziram inundações e aumentaram a resiliência climática (FIGUEIREDO et al., 2022).

Além do contexto brasileiro, estudos internacionais reforçam a eficácia dessas soluções. Em Roma, Itália, um projeto na região de Acilia – Madonnetta monitorou, por dois anos, a regeneração urbana com Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SuDS), resultando em redução de 30% no escoamento superficial e atenuação do efeito de ilha de calor em até 5°C (CRUPI et al., 2024). Técnicas como pavimentos permeáveis e telhados verdes também aumentaram a infiltração da água no solo em 40%, promovendo o equilíbrio hidrológico urbano. Esses exemplos demonstram o potencial das infraestruturas verdes e azuis para aprimorar a drenagem urbana e minimizar impactos ambientais, evidenciando sua viabilidade para aplicação na Avenida João Pinheiro.

Resultados e Discussão

A pesquisa focou na análise de soluções baseadas na natureza, com ênfase nos jardins de chuva, ou células de biorretenção, que têm sido amplamente utilizados para reduzir o escoamento superficial e filtrar poluentes. Essas infraestruturas utilizam plantas nativas para absorver e reter água da chuva proveniente de superfícies impermeáveis, como calçadas e vias públicas, ajudando a restaurar o ciclo hidrológico e a combater enchentes locais (TORONTO AND REGION CONSERVATION AUTHORITY, 2024).

No caso da Avenida João Pinheiro, o estudo incluiu visitas de campo para identificar áreas críticas de alagamento, além da análise de dados meteorológicos históricos sobre chuvas intensas. Os resultados indicaram que a implementação de infraestruturas verdes e azuis pode beneficiar significativamente a região, reduzindo enchentes e melhorando a qualidade da água do Rio das Antas.

A adoção dessas soluções foi detalhada e será ilustrada na Figura 2, onde são apresentados os locais específicos para cada intervenção. As principais estratégias incluem:

- Pavimentos permeáveis (Figuras 2A e 2B), que permitirão maior absorção da água da chuva pelo solo, reduzindo seu acúmulo superficial e minimizando alagamentos;
- Jardins de chuva (Figuras 2C e 2E), projetados para captar e infiltrar o escoamento superficial das calçadas e vias próximas à ciclovia;
- Biovaletas (Figura 2D), que auxiliarão no controle do escoamento superficial e facilitarão a infiltração gradual da água no solo, diminuindo a sobrecarga do sistema de drenagem.



Figura 3 – Localização das intervenções de infraestrutura verde e azul na Avenida João Pinheiro. Os pontos específicos incluem pavimentos permeáveis (A e B), jardins de chuva (C e E) e uma biovaleta (D), projetados para promover a infiltração da água da chuva e reduzir o escoamento superficial em áreas sujeitas a alagamentos.
Fonte: Registro dos autores (2024)

Esses pontos também estão representados no mapa da Figura 3, onde são destacados os locais de intervenção de A a E com simbologias específicas para cada solução. No mapa, os pontos A e B indicam áreas com pavimento permeável, contribuindo para a absorção da água da chuva pelo solo. Os pontos C e E representam a localização dos jardins de chuva, estrategicamente posicionados para captar o escoamento de superfícies impermeáveis. Já o ponto D destaca a posição da biovaleta, projetada para auxiliar no controle do escoamento superficial e facilitar a infiltração da água da chuva.

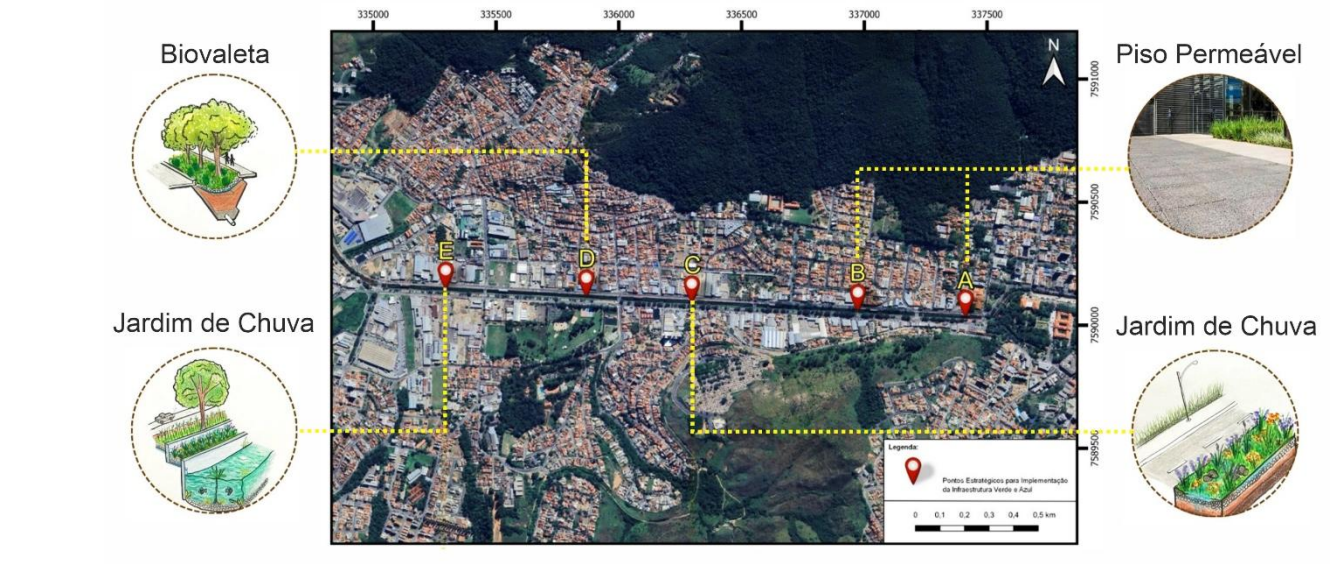


Figura 3 – Pontos de intervenção e modelos de estrutura verde e azul possíveis de serem implementadas.

Considerações Finais

A Avenida João Pinheiro, em Poços de Caldas, apresenta condições favoráveis para a implementação de infraestruturas verdes e azuis, devido à sua localização estratégica ao lado do Rio das Antas e aos desafios recorrentes de alagamentos e poluição hídrica. A adoção dessas soluções mitigaria esses impactos ambientais, além de servir como um modelo replicável para outras cidades, incentivando a integração de práticas sustentáveis no planejamento urbano.

Além dos benefícios diretos na redução de enchentes e melhoria da qualidade da água, essas infraestruturas também promovem ganhos ecológicos e sociais, como o aumento das áreas verdes, a valorização do espaço público e a melhoria do microclima urbano. Demonstrar a viabilidade dessas estratégias em um cenário real pode reforçar a necessidade de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, incentivando municípios a adotarem soluções inovadoras para a gestão das águas pluviais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, campus Poços de Caldas.

Referências Bibliográficas

PAUL, M. J.; MEYER, J. L. 2001. **Streams in the Urban Landscape**. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 32, p. 333-365.

POÇOS NA REDE. 2020. **Vegetação, Hidrografia e Clima**. Disponível em: https://web.archive.org/web/20170924053722/http://www.pocosnarede.com/cidade/cidade_detalhes.php?id=4. Acesso em: 20 out. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS. 2024. **Cronograma revitalização da Avenida João Pinheiro**. Disponível em: https://pocosdecaldas.mg.gov.br/noticias/segue-dentro-do-cronograma-revitalizacao-da-avenida-joao-pinheiro/. Acesso em: 20 out. 2024.

RUTIGLIANI, V. A.; MATTOS, R. R.; VERÓL, A. P. 2023. **Método de análise urbana para desenvolvimento de plano estratégico empregando infraestruturas verdes e azuis: caso da bacia do Rio Acari (RJ).** In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 5. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/3013. Acesso em: 20 out. 2024.

TORONTO AND REGION CONSERVATION AUTHORITY. 2024. **Complete Guide to Building and Maintaining a Rain Garden**. Disponível em: https://trca.ca/news/complete-guide-building-maintaining-rain-garden/. Acesso em: 06 out. 2024.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Sistemas de Drenagem Sustentáveis



8º SSS

INFRAESTRUTURA VERDE NA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DOS JARDINS DE CHUVA: O CASO DA RUA MAJOR NATANAEL - SP

Rafael de Souza Guimarães
Universidade de São Paulo, e-mail: r.guimaraes@usp.br

Palavras-chave: jardim de chuva; infraestrutura verde; eficiência hidráulica.

Resumo

Este artigo analisa a eficiência hidráulica dos jardins de chuva implantados na Rua Major Natanael, em São Paulo, como parte de um sistema de microdrenagem baseado em Soluções Baseadas na Natureza (SbN). A pesquisa investiga o desempenho desses dispositivos em termos de retenção e infiltração do escoamento superficial gerado por áreas impermeáveis urbanas. Foram analisadas 11 sub-bacias com uso do Método Racional para estimar a vazão máxima e o volume de escoamento, considerando áreas de contribuição específicas para cada jardim de chuva. A eficiência foi avaliada por meio da relação entre área impermeável, capacidade de armazenamento, volume infiltrado e proporção de área ocupada pelos jardins. Os resultados apontam que, embora os jardins ocupem apenas 9,69% da área total de contribuição, conseguem reter cerca de 20,85% do volume de escoamento gerado, com destaque para o jardim da Rua Major Natanael, que atingiu uma eficiência hidráulica de 21,14%. O estudo conclui que os jardins de chuva são instrumentos eficazes no controle de enchentes urbanas, desde que adequadamente dimensionados e integrados a sistemas convencionais de drenagem, recomendando a ampliação do uso desses dispositivos na infraestrutura verde urbana.

A Intensificação das chuvas e a Drenagem Sustentável

A intensificação das chuvas e o aumento da impermeabilização do solo nas cidades têm gerado impactos significativos nos sistemas de drenagem urbana. Usualmente, o manejo das águas pluviais priorizou a rápida condução da água para fora das áreas urbanas. Contudo, essa abordagem tem se mostrado insuficiente diante da complexidade dos eventos hidrológicos extremos e das mudanças climáticas. Nesse contexto, surgem as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), que propõem integrar processos naturais aos sistemas urbanos, promovendo um ciclo hidrológico mais equilibrado e resiliente.

Segundo o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, apenas 54,8% dos municípios brasileiros dispunham de sistemas exclusivos para drenagem de águas pluviais. Observa-se que a drenagem é também um indicador do desenvolvimento sustentável de uma cidade e da sua capacidade técnica de suportar e gerenciar chuvas intensas.

Apesar dos desafios enfrentados em relação às enchentes e ao déficit de cobertura desse serviço. A drenagem sustentável representa uma ruptura desse modelo, ao buscar soluções integradas à paisagem urbana. Em cidades como São Paulo, Belo Horizonte e Niterói, iniciativas mais recentes vêm adotando sistemas inspirados na natureza para controlar enchentes, melhorar a qualidade da água e recarregar aquíferos (WRI Brasil, 2022). As SbN, englobam ações que se inspiram na natureza para solucionar desafios urbanos, promovendo a biodiversidade e a resiliência climática. A infraestrutura verde, um dos pilares das SbN, incorpora técnicas como os jardins de chuva que contribuem para restaurar os serviços ecossistêmicos urbanos.

Essa abordagem ganha relevância ao substituir sistemas puramente cinzas por soluções híbridas, onde a drenagem sustentável funciona em conjunto com dispositivos convencionais. Documentos recentes como o “Guia Metodológico para Infraestrutura Verde” (IPT, 2020) e o “Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços Livres” (SMAC, 2023) têm orientado gestores públicos e projetistas na adoção dessas práticas. Entre os dispositivos, os jardins de chuva destacam-se por sua funcionalidade, versatilidade e aplicabilidade em áreas urbanas adensadas. Trata-se de depressões rasas, vegetadas, projetadas para captar o escoamento superficial, promovendo sua infiltração no solo, o amortecimento do pico de vazão.

Sua adoção está relacionada a técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), que visam gerenciar as águas pluviais no local de sua geração. Estudos apontam que jardins de chuva podem absorver aproximadamente 5% da vazão gerada em sua área de contribuição, auxiliando na redução de enchentes e na recarga do lençol freático (Guillette, 2016; Oliveira, 2022).

Apesar dos avanços, ainda há escassez de dados técnicos sobre o dimensionamento eficiente desses dispositivos no Brasil. Segundo Oliveira, até o ano de 2022, apenas 13 artigos científicos abordavam os parâmetros hidráulicos de jardins de chuva — todos de autores estrangeiros. A ausência de normas técnicas brasileiras específicas compromete sua aplicação sistematizada.

Vale ressaltar que, fatores como área de contribuição, taxa de infiltração, altura do lençol freático, declividade e espaço disponível devem ser analisados caso a caso. Sem esses cuidados, os jardins de chuva podem acabar reduzidos a elementos estéticos, com baixa efetividade no controle hidrológico.

Campos (2021) relata que em São Paulo, as inundações têm estreita relação com a ocupação intensiva das áreas de várzea e o alto grau de impermeabilização da área urbana. O escoamento de águas servidas e pluviais é gerenciado de modo separado; a microdrenagem está a cargo da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Obras Urbanas e das Subprefeituras regionais, enquanto a macrodrenagem ao Governo do Estado de São Paulo, por meio do SP Águas.

Implementação efetiva de SbN depende de um modelo de governança colaborativa. Campos (2021) destaca a importância da integração entre atores institucionais e sociais para viabilizar intervenções sustentáveis. Nesse sentido, ela propõe o uso dos Comitês de Bacia Hidrográfica como espaços de articulação técnica e institucional. A inserção do conceito de SbN em marcos regulatórios, como o Plano Diretor de São Paulo de 2024 e o Plano Municipal de Metas e Clima de 2021, reforça a importância de alinhar práticas técnicas a políticas públicas estruturantes, voltadas à adaptação climática urbana.

Mesmo com todos os desafios de se ter uma cidade resiliente as mudanças climáticas e a expansão do tecido urbano, São Paulo ainda assim consegue se destacar nos sistemas de infraestrutura verde — uma prática que seria impensável há duas décadas. Esse avanço tem sido estimulado pela discussão técnica baseada no Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257, de 2001), que garante o direito de todos a uma cidade sustentável, promovendo o bem-estar e a segurança da população (GUIMARÃES, 2021).

Considerados dispositivos estruturais, os Jardins de Chuva, quando combinados com sistemas convencionais, melhoram a distribuição do escoamento das águas, controlam o volume descarregado nos corpos receptores e promovem maior infiltração no solo, recarregando o lençol freático, algo que não é possível com dispositivos convencionais.

O artigo propõe uma análise da eficiência hidráulica dos Jardins de Chuva em vias urbanas, com o objetivo de avaliar sua capacidade de absorver uma parcela do volume de escoamento proveniente da precipitação e seu impacto no amortecimento do pico da chuva. O estudo desenvolve o Sistema Major Natanael, construído em 2020 e considerado o maior sistema de Jardins de Chuva do Brasil, com mais de 2.900 m² de área verde e capacidade de absorver 5% do volume do piscinão do Pacaembu (SMSUB, 2020). Espera-se que o artigo incentive o uso crescente desses dispositivos para a melhoria da gestão das águas pluviais nas bacias hidrográficas dos centros urbanos, promovendo práticas de drenagem mais sustentáveis e eficazes.

Estudo de Caso: Jardins de Chuva na Rua Major Natanael

Os Jardins estão distribuídos ao longo da sub-bacia do Pacaembu em pontos baixos das respectivas áreas de contribuição. O principal fica no eixo da Rua Major Natanael, com 2.186,65 m². As demais estão nas esquinas que ligam a Rua. O levantamento fotográfico realizado em visita indica que o sistema dessa infraestrutura verde é constituído de 11 jardins, conforme apresenta a Figura 1. Suas referências é a Avenida Doutor Arnaldo, Cemitério do Araçá, Complexo Esportivo do Pacaembu.

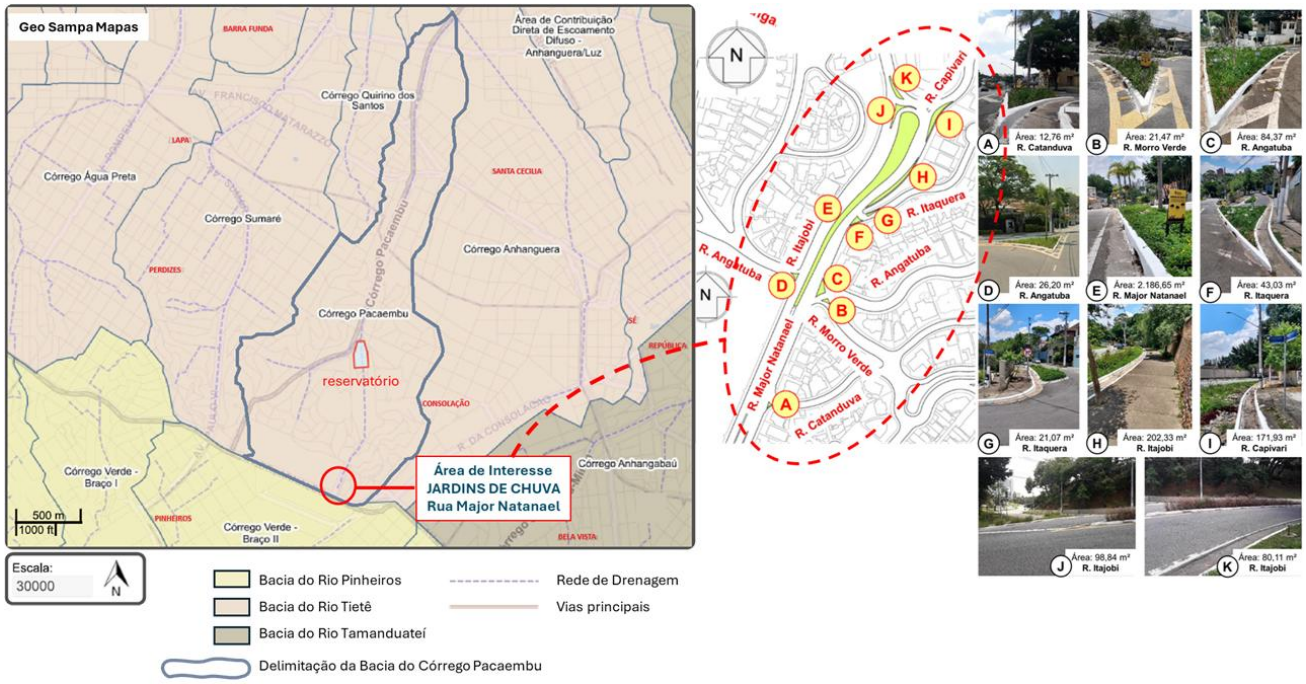


Figura 1: Bacia do Córrego Pacaembu e localização do sistema de jardim de chuva da Rua Major Natanael

Estudo hidrológico

Para compreensão do impacto do jardim de chuva na drenagem é importante realizar a estimativa de vazão para medir a eficiência hidráulica. A vazão é estimada com base na precipitação. Existem diversos métodos para estimativa. Mas, de acordo com o tamanho da sub-bacia, o mais indicado é o Método Racional para projetos com dimensões menores que 2 km². Considera a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração e adota um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia. A Equação (1) apresenta a vazão máxima utilizada pelo Método Racional.

$$Q_{max} = 0{,}278 \times C \times I \times A \qquad (1)$$

Onde: I é a Intensidade da chuva (precipitação) em mm/h; A é a área da bacia (km²); C o coeficiente de perdas. Q_{max} a vazão máxima dada (m³/s).

Para aplicação do Método Racional foi utilizada a intensidade de chuva (Equação 2) encontrada no Caderno Técnico desenvolvido pelo SP Águas (Antigo DAEE) em parceria com o Centro Tecnologia de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH), denominado Precipitações Intensas na Bacia do Alto Tietê, Edição 2018, página 33.

$$i_{t,T} = 32{,}77(t+20)^{-0{,}8780} + 16{,}10(t+30)^{-0{,}9306}\left[-0{,}4692 - 0{,}8474 ln ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \quad (2)$$

Onde: I é intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T, em mm/min; t é duração da chuva em minutos e T o período de retorno em anos.

O Período de retorno (T) é um parâmetro hidrológico utilizado no dimensionamento de sistemas de micro e macrodrenagem. Tomaz (2011) define o tempo de retorno como o período médio em que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para o nosso projeto o "T" será de 10 anos com o tempo de concentração de 5 minutos.

Dada a localização e quantidade dos jardins de chuva que constituem o Sistema do Major Natanael, o estudo delimitou uma área de 221.081,02 m² ou 22,11 hectares distribuídos em 11 sub-bacias do Pacaembu. Conforme a Tabela 1, dentro dessas sub-bacias foram levantadas as áreas permeáveis e impermeáveis definidas como: área de implantação do jardim de chuva, responsável pelo sistema de captação; área impermeável, que tem seu escoamento superficial direcionado ao jardim de chuva e a captação das bocas de lobo e área total, que é a soma das duas áreas.

Para que seja viável a aplicação desde dispositivo, foi considerado a hipótese de áreas de contribuição, ou seja, não considera toda a área da sub-bacia, mas sim a área de contribuição a partir do penúltimo dispositivo de captação (boca de lobo) da microdrenagem até o jardim de chuva, pois geralmente, o último dispositivo de captação deve estar implantado próximo do jardim para captação do volume excedente. A Tabela 1 apresenta as áreas de contribuição de cada sistema de jardim de chuva.

Tabela 1 – Áreas de Contribuição

Indicação	Sub-bacia (m²)			Área de Contribuição (m²)		
	Permeável	Impermeável	Total da Sub-bacia	Área do JC	Impermeável	Total da Área
A	52,95	15.216,50	15.269,46	12,76	828,5	841,26
B	3.891,78	62.467,29	66.359,07	21,47	1.664,82	1.686,29
C	84,37	19.064,99	19.149,36	84,37	1.753,49	1.837,86
D	200,36	42.777,29	42.977,65	26,2	1.030,15	1.056,35
E	2.607,14	13.482,20	16.089,34	2.186,65	9.718,83	11.905,48
F	43,03	2.434,95	2.477,98	43,03	2.477,98	2.521,01
G	21,07	5.757,06	5.778,13	21,07	2.679,61	2.700,68
H	485,68	2.344,84	2.830,52	202,33	2.830,52	3.032,85
I	1.202,95	35.657,49	36.860,43	171,93	2.562,54	2.734,47
J	1.142,42	6.191,68	7.334,10	98,84	2.349,51	2.448,35
K	1.566,91	4.388,08	5.954,99	80,11	2.916,75	2.996,86
Total	**11.298,65**	**209.782,38**	**221.081,02**	**2.948,76**	**30.812,70**	**33.761,46**

Fonte: Elaborado pelo autor

As sub-bacias do estudo possuem 94,61% de área impermeável e as ruas do bairro Pacaembu são residenciais, constituídas por casas de alto padrão, alguns comércios e escritórios, arborizado com pontos de área verde. A Figura 2 mostra o mapa satélite com a definição das sub-bacias. A localidade é próxima ao centro da cidade, mas não adensada. Mc Cuen apud Tomaz (2011) categorizam esse tipo de característica urbana como, edificação não muito densa: partes residenciais com baixa densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas, adota-se o C de 0,70 com tempo de concentração em 5 minutos.



Figura 2: Delimitação das áreas do projeto e mapa satélite

Para análise da eficiência hidráulica, serão o utilizados os resultados das vazões máximas da Tabela 2. Uma parte apresenta toda a área de contribuição partindo da hipótese da inexistência dos jardins, considerando a área total (área do jardim

de chuva e contribuição) como 100% impermeável, e a outra parte apresenta as vazões máximas somente das áreas de contribuição. Esses cálculos são importantes para compreender o antes e o depois da implantação dos Jardins de Chuva.

Tabela 2 – Áreas de contribuição com e sem jardins de chuva e as vazões (Q) máximas de projeto

Sub-bacia	Áreas JC m²	Contribuição m²	Contribuição hectare	Impermeável m²	Permeável m²	A s/ JC m²	Q. s/ JC m³/h	Q. c/ JC m³/h	Proporção
A	12,76	828,50	0,08	828,50	0	841,26	109,58	107,92	1,52%
B	21,47	1.664,82	0,17	1.664,82	0	1.686,29	219,66	216,86	1,27%
C	84,37	1.753,49	0,18	1.753,49	0	1.837,86	239,40	228,41	4,59%
D	26,20	1.030,15	0,10	1.030,15	0	1.056,35	137,60	134,19	2,48%
E	2.186,65	9.718,83	0,97	9.718,83	0	11.905,48	1.550,81	1.265,97	18,37%
F	43,03	2.477,98	0,25	2.477,98	0	2.521,01	328,39	322,78	1,71%
G	21,07	2.679,61	0,27	2.679,61	0	2.700,68	351,79	349,05	0,78%
H	202,33	2.830,52	0,28	2.547,09	283,35	2.749,42	358,14	331,78	7,36%
I	171,93	2.562,54	0,26	2.034,26	528,28	2.206,19	287,38	264,98	7,79%
J	98,84	2.349,51	0,23	1.305,93	1.043,58	1.404,77	182,99	170,11	7,04%
K	80,11	2.916,75	0,29	1.429,95	1.486,80	1.510,06	196,70	186,27	5,31%
Total	**2.948,76**	**30.812,68**	**3,08**	**27.470,60**	**3.342,00**	**30.419,36**	**3.962,43**	**3.578,32**	

Fonte: Elaborado pelo autor

Dimensionamento hidráulico do jardim de chuva

O dimensionamento baseou se no terreno impermeável das áreas de contribuição e realizou um comparativo através da proporção, "área de jardim" e "área impermeável". A Tabela 1 acima mostra o levantamento dessas áreas.
O volume de entrada é a quantidade de escoamento superficial direto a ser armazenado pelo jardim de chuva. De acordo com a Melo (2011): "[...] a determinação dos volumes de entrada é essencial para armazenamento, pois mesmo que as águas não se infiltrem no solo abaixo do dispositivo, elas tendem a se armazenar dentro da estrutura.". A vazão máxima é calculada pelo Método Racional, conforme a Equação (3).

$$Q_{max} = \frac{C \times I \times A \times 10^{-3}}{3600} = \frac{0{,}70 \times 185{,}94 \times 2186{,}65 \times 10^{-3}}{3600} = 0{,}079057\ {}^{m^3}/_{s} \quad (3)$$

Onde: I = intensidade da chuva (mm/h); A área da bacia (km²); C coeficiente de perdas e Q_{max} é a vazão máxima (m³/s)

Encontrando a parcela da vazão máxima que incide na área do jardim da Equação (4), é possível calcular o volume de entrada.

$$V_E = Q \times t = 0{,}079057 \times 3600 = 284{,}61\ m^3 \quad (4)$$

Onde: VE volume de entrada (m³); Q vazão máxima (m³/s) e t é o tempo (s)

O volume de saída do jardim de chuva corresponde tanto à quantidade de água que sai e se infiltra no solo logo abaixo da estrutura quanto ao volume de água liberado pelos processos de evaporação e transpiração. Pela dificuldade em se calcular o volume perdido por evapotranspiração e pela falta de precisão em apurar esse valor, o volume de saída foi considerado apenas como sendo o volume que infiltra no solo. Sua determinação tem como base o modelo empírico de Kostiakov, que estima a infiltração acumulada através da Equação (5).

$$I_{ac} = k \times t^n = 4{,}5 \times 5^{0{,}80} = 16{,}31mm \quad (5)$$

Onde: I_{ac} infiltração acumulada (mm); t tempo (min); k e n são constantes que dependem do solo e de suas características iniciais.

De acordo com o professor Tomaz (2011), o solo da Bacia de Pacaembu possui a capacidade mínima de infiltração de 4,5 mm/hora, enquadrando-se na Classificação do Grupo B de características arenosas com pouca argila e solo orgânico, sendo assim, adotou-se o "k" como 4,50. E o valor de "n" como 0,80 conforme Saatkamp (2019) adotou o modelo empírico de Kostiakov, que trata desses dois parâmetros a partir da velocidade de infiltração no solo. Dessa forma, o volume de saída foi calculado na Equação (6).

$$V_S = I_{ac} \times A_{inf} = 0{,}01631 \times 2.186{,}65 = 35{,}66m^3 \quad (6)$$

Onde: VS volume de saída (m³), I_{ac} infiltração acumulada (m) e A_{inf} é a área do jardim (m²)

O volume de armazenamento corresponde ao volume de água mínimo que cada jardim deve ser capaz de armazenar durante a chuva e após o fim desta. Ele é calculado através da seguinte Equação (7).

$$V_A = V_E - V_S = 284{,}61 - 35{,}66 = 248{,}95m^3 \quad (7)$$

Onde: VA volume de armazenamento (m³), VE volume de entrada (m³) e VS volume de saída (m³)

De acordo com o Manual de boas práticas de gestão de águas pluviais da Pensilvânia (PA BMP Manual, 2006), desnível é a zona de represamento ou alagamento e possui altura máxima de 15,24 cm. Para o Estudo de Caso foi adotado 15 cm, conforme a Equação (8).

$$V_D = h_{rep} \times A_{inf} = 0{,}15 \times 2.186{,}65 = 328{,}00m^3 \quad (8)$$

Onde: VD volume de desnível (m³); h_{rep} altura represada do desnível (m) e A_{inf} é a área do jardim (m²).

Análise de eficiência

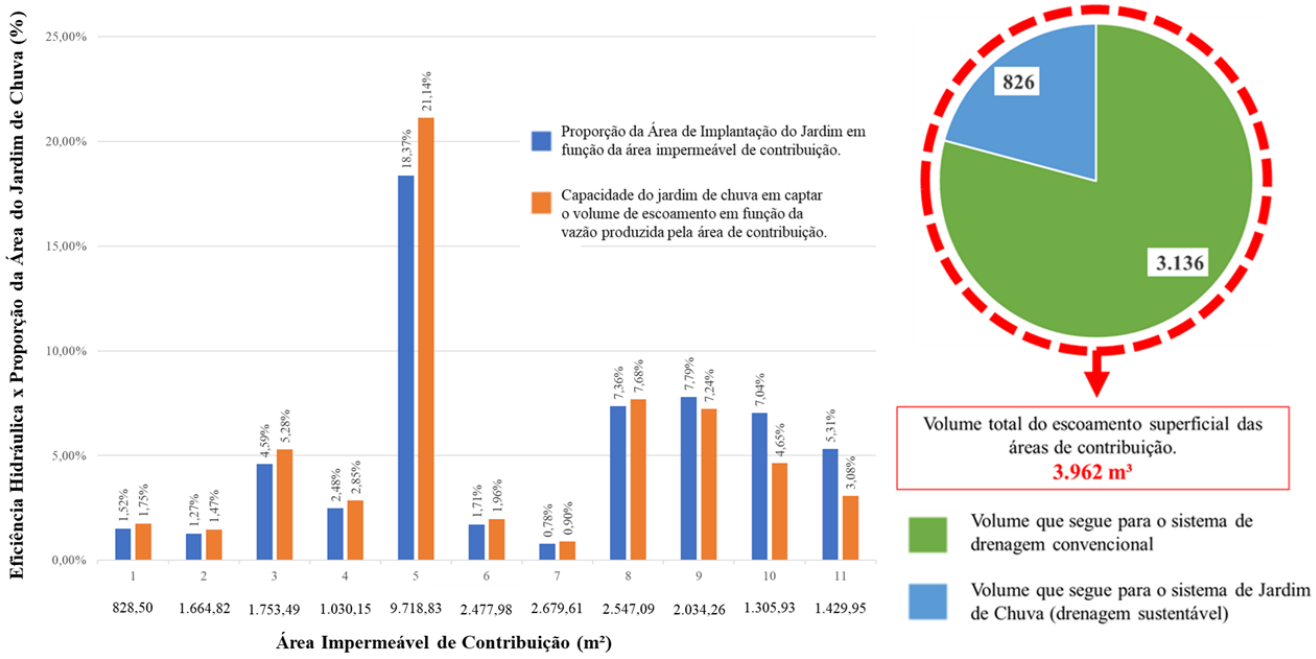
Para análise da eficiência hidráulica considera a área de contribuição total: área impermeável e a área de implantação dos jardins de chuva: a partir do penúltimo dispositivo de captação da microdrenagem até o jardim de chuva onde encontra-se o próximo dispositivo de captação.

Adota-se a premissa que a Área de Contribuição Total (30.419,36 m²) é: a área da parte impermeável (27.470,60 m²) mais a área de implantação do jardim de chuva (2.948,76 m²). Esta área gera um volume de escoamento de 3.962 m³, se porventura não houvesse os jardins de chuva, esse volume seguiria para o sistema convencional de drenagem urbana. Com a implantação dos jardins de chuva, 826 m³ deixa se seguir para o sistema convencional de drenagem urbana, cerca de 20,85% do volume total.

Os Jardins de Chuva representam 9,69% da área total de contribuição, capaz de receber 20,85% do volume.

Sendo assim, é possível observar que existe uma relação entre áreas e volumes e por meio delas verificar a análise de eficiência hidráulica dos Jardins de Chuva do Sistema Major Natanael. O Gráficos 1 ilustra a análise.

Gráfico 1 – Eficiência hidráulica: área x volume



O artigo vai adotar a Área de Contribuição "E", correspondente ao Jardim de Chuva da Rua Major Natanael para dar maior profundidade na análise.

A área total de contribuição "E" da Rua Major Natanael é de 11.905,48 m², dentro dessa área, uma parcela de 9.718,83 m² considera-se como impermeável e a outra parcela representa a implantação do Jardim de Chuva com 2.186,65 m². Entre essas áreas existe uma relação de proporcionalidade de 18,37% entre a área de contribuição total e o jardim de chuva. Ressalta-se que, se não houvesse uma área de implantação do Jardim de Chuva da Rua Major Natanael, Sub-bacia "E", esses 18,37% (2.186,65 m²) também seria uma área impermeável.

Essa relação também se aplica ao volume de escoamento. O volume é dado pela vazão máxima de escoamento de 1.265,97 m³/h, calculado a partir do método racional considerando a área de contribuição. Uma parcela do volume de escoamento vai

incidir sobre o jardim de chuva através dos volumes de entrada e desnível (represamento). Essa parcela é a capacidade do jardim de chuva que corresponde a 612,60 m³. Considerando também a hipótese sem o Jardim de chuva, teríamos uma vazão de 1.550,81 m³/h. Fazendo uma relação, conforme a Equação (9).

$$EF = (V_{AI} + V_D) - V_{ACT} = (1.265{,}97 + 612{,}60) - 1.550{,}81 = 327{,}77m^3 \quad (9)$$

Onde: V_{AI} Volume de Área Impermeável (m³), V_D Volume de Desnível (m³); V_{ACT} Volume de Área de Contribuição Total (m³) e EF eficiência (m³)

Ou seja, 327,77 m³ do volume do Jardim de Chuva da Rua Major Natanael fica retido no sistema e apresenta uma eficiência hidráulica de 21,14% em função da área de 18,37%., dada as devidas proporções, características de escoamento e capacidade de infiltração da água no solo. As áreas de implantação dos jardins de chuva possuem uma proporção em função da área de contribuição. Com as vazões máximas estimadas foi possível identificar o volume de escoamento para uma hora de chuva. Esse volume de escoamento é a vazão de pico e os jardins de chuva têm a função de ser um agente capaz de proporcionar o amortecimento dessa chuva recebendo uma parcela desse volume.

Conclusão

A drenagem urbana sustentável com base nas Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde, representa um caminho promissor para enfrentar os desafios crescentes da urbanização e das mudanças climáticas. é possível concluir que os Jardins de Chuva não são capazes de infiltrar todo o volume de escoamento da área de contribuição dadas as características do solo e disponibilidade de área de implantação, sendo necessário o uso de bocas de lobo. Ainda assim, a microdrenagem urbana convencional é o meio principal para gestão das águas da bacia hidrográfica. Os jardins de chuva, enquanto dispositivos de infraestrutura verde, demonstram potencial significativo na retenção, infiltração e melhoria da qualidade das águas pluviais. No entanto, para ampliar sua adoção, é urgente: fortalecer a base científica nacional sobre o tema; normatizar o dimensionamento hidráulico desses dispositivos; fomentar a capacitação técnica dos gestores públicos; integrar políticas urbanas, ambientais e hídricas por meio de modelos colaborativos de governança. Esse conjunto de ações pode promover uma nova abordagem do planejamento urbano, mais integrada, resiliente e ecologicamente correta.

Referências Bibliográficas

CAMPOS, Valéria Nagy de Oliveira. **Soluções baseadas na natureza (SbN) e Drenagem Urbana em Cidades Latino-Americanas: desafios para implementar soluções fluidas em ambientes rígidos.** Lab Verde: FAU USP, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 73-94, 14 dez. 2021. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/189314. Acesso em: 20 mar. 2025.

GUILLETTE, Anne. **Tecnologias de desenvolvimento de baixo impacto**. 2016. Whole Building Design Guide. Disponível em: https://www.wbdg.org/resources/low-impact-developmant-technologies. Acesso em: 03 mai. 2025.

GUIMARÃES, Rafael de Souza *et al*. **Drenagem Sustentável**: Eficiência hidráulica do jardim de chuva em vias Urbanas estudo de caso: Sistema Major Natanael. 2022. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2022.

OLIVEIRA, Mariângela Dutra de. **Jardim de Chuva: uma revisão sistemática da literatura.** In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE DA FEA/USP, 24., 2022, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 2022. p. 1-16. Disponível em: https://engemausp.submissao.com.br/24/anais/arquivos/375.pdf?v=1726157755. Acesso em: 20 jul. 2024.

RIO DE JANEIRO. Secretaria Municipal do Ambiente e Clima - SMAC. Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (org.). **Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços Livres**. Rio de Janeiro: Giz, 2023. 164 p. Colaboração Pref. Campinas.

SAATKAMP, G. Jardim de chuva: **Estudo comparativo de um sistema de biorretenção e uma bacia de amortecimento pluvial.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Governo do Estado de São Paulo (org.). **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**. São Paulo: Fundação de Apoio Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2020. 79 p.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** São Paulo: Navegar Editora, 2011. 585 p.

WRI Brasil (org.). **Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras.** 2022. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-exemplos-implementados-por-cidades-brasileiras. Acesso em: 20 jul. 2024.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: CONTRIBUIÇÕES PARA O CONCEITO DE CIDADE-ESPONJA NO NORDESTE BRASILEIRO

1Vitória Kelly Uchôa Andrade, 2Pedro Henrique Augusto Medeiros, 3 Rômulo Silva dos Santos, 4Teresa Raquel Lima Farias

1,2,4 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE e-mails: vitoria.andrade60@aluno.ifce.edu.br, phamedeiros@ifce.edu.br, teresafarias@ifce.edu.br; 3Fundação Osvaldo Cruz-FIOCRUZ Ceará, e-mail: romulo.santos@fiocruz.br

Palavras-chave: campus-esponja; técnicas compensatórias; drenagem urbana sustentável.

Resumo

A urbanização modifica o ciclo hidrológico natural, pelo aumento de superfícies tecnicamente impermeáveis, com redução da infiltração da água no solo, conduzindo a maior escoamento superficial, sobrecarregando os sistemas tradicionais de drenagem, ocasionando alagamentos e enchentes e intensificando os desequilíbrios ambientais. Diante desse cenário, as técnicas compensatórias de baixo impacto, em especial os pavimentos permeáveis, surgem como soluções sustentáveis para a gestão das águas pluviais. Este artigo objetiva avaliar a condutividade hidráulica de pavimentos permeáveis no *campus* da Fiocruz no Ceará, analisando sua eficácia como componente de um sistema de drenagem sustentável que integra infraestrutura convencional e Soluções baseadas na Natureza (SBN), no contexto do conceito "*campus*-esponja". Foram realizados 11 ensaios de infiltração em calçadas permeáveis do *campus*, com determinação dos coeficientes de permeabilidade. Os resultados indicaram um valor médio de $5{,}94 \times 10^{-5}$ m/s, sendo que 91% dos pontos avaliados apresentaram classificação de permeabilidade média, demonstrando desempenho satisfatório mesmo após sete anos de sua implantação. Os resultados obtidos reforçam a viabilidade técnica dos pavimentos permeáveis como alternativa para a drenagem urbana, especialmente em contextos em que a gestão das águas pluviais é crítica. A Fiocruz-CE exemplifica como instituições podem aliar pesquisa científica a práticas ambientais. Seu modelo de "campus-esponja" não apenas mitiga impactos urbanos, mas também oferece subsídios para políticas públicas em regiões secas, reforçando o papel da ciência na construção de cidades mais sustentáveis.

Introdução

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal e modifica o ciclo hidrológico natural, principalmente devido ao aumento das superfícies tecnicamente impermeáveis. Esse processo ocorre porque a expansão urbana frequentemente não é acompanhada por infraestrutura adequada, sobrecarregando os sistemas tradicionais de drenagem e intensificando os desequilíbrios ambientais, como redução da infiltração da água no solo, ocasionando alagamentos e enchentes (CARVALHO, 2019). Neste cenário, técnicas compensatórias de baixo impacto emergem como alternativas sustentáveis, com destaque para os pavimentos permeáveis.

O concreto permeável, conforme definido pelo *American Concrete Institute* (ACI 522, 2010), constitui um material caracterizado por sua estrutura porosa interconectada, que permite a infiltração da água pluvial. Como componente estratégico da infraestrutura verde urbana, este sistema oferece triplo benefício: atenuação do escoamento superficial, melhoria da qualidade da água de recarga, e redução dos impactos ambientais associados à expansão urbana. Segundo Azzout et al., (1994) o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis baseia-se em: i) entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento, que pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimentos porosos que permitem a penetração da água) ou localizadamente; ii) estocagem temporária da água no interior do pavimento e nos vazios da camada reservatória e, iii) evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Em uma abordagem de drenagem urbana sustentável, a tendência atual é priorizar pavimentos que permitam a infiltração da água e reduzam a velocidade de escoamento superficial. Nesse contexto, os pavimentos permeáveis assumem um papel importante, pois diminuem o volume de água escoada e mitigam os impactos sobre sua qualidade, contribuindo para a gestão integrada de recursos hídricos. Dessa forma, o uso de pavimentos permeáveis tem se tornado uma medida para mitigar os impactos da intensa urbanização. Para avaliar sua eficácia no controle do escoamento superficial, é fundamental determinar sua condutividade hidráulica, parâmetro que quantifica a capacidade de infiltração da água no pavimento.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar a condutividade hidráulica de pavimentos de concreto permeável implementados no campus da Fundação Osvaldo Cruz (Fiocruz), no município de Eusébio, Ceará. O trabalho analisa o desempenho desses pavimentos enquanto componente-chave de um sistema integrado de drenagem sustentável, que combina soluções baseadas na natureza (como jardins de chuva) com infraestrutura convencional, caracterizando a abordagem de "campus-esponja" adotada pela instituição.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A Fiocruz Eusébio é uma unidade da Fundação Oswaldo Cruz dedicada a pesquisa científica, formação de recursos humanos e desenvolvimento da área da saúde pública, sendo um importante centro de saúde pública no Nordeste do Brasil. Possui um terreno de aproximadamente 32 hectares, à margem da Lagoa da Precabura, que separa os municípios do Eusébio e de Fortaleza no estado do Ceará, a sede foi inaugurada em junho de 2018 e trouxe visibilidade para o Estado (FIOCRUZ CEÁRA, 2018).

O campus da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) em Eusébio destaca-se como um modelo de integração entre pesquisa em saúde e sustentabilidade ambiental. Sua concepção incorpora princípios de resiliência climática e gestão ecológica de recursos hídricos, posicionando-se como referência em infraestrutura sustentável no Nordeste brasileiro. Dentre as principais características ambientais do campus destaca-se um sistema de drenagem sustentável (Figura 1) com adoção de pavimentos permeáveis em calçadas e vias, reduzindo o escoamento superficial e promovendo a recarga do lençol freático, integrados com jardins de chuva e bacias de infiltração, seguindo o conceito de "cidade-esponja" que contribuem para a redução do impacto de enchentes e controle da erosão no entorno. Complementando essa abordagem, o campus adota eficiência hídrica (captação e reuso de águas pluviais) e energética (painéis solares), funcionando simultaneamente como laboratório para pesquisas em infraestrutura verde, adaptação climática no semiárido e soluções baseadas na natureza (SBN) para desafios urbanos.



Figura 1: Campus Fiocruz Ceará, com destaque para a utilização de pavimentos permeáveis em calçadas e integração com jardins de chuva e sistema de drenagem convencional.

Medições de infiltração em calçadas com pavimento permeável

Foram conduzidos 11 ensaios de infiltração em pavimentos permeáveis das calçadas do Bloco Gestão do *campus* Fiocruz-CE, nos dias 24 de maio e 26 de junho de 2024, seguindo rigorosamente a norma NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos (ABNT, 2015). Na Figura 2 apresenta-se localização do trecho de pavimento avaliado.



Figura 2: Localização do campus Fiocruz com destaque para o trecho onde os ensaios de infiltração foram realizados

Os ensaios foram conduzidos em três configurações distintas (Figura 3) para avaliar a influência das juntas no desempenho hidráulico do pavimento: (a) no centro das placas de concreto permeável, (b) sobre juntas longitudinais posicionadas no eixo

central do anel de infiltração, e (c) sobre juntas em cruz localizadas no ponto médio do anel. Essa abordagem permitiu caracterizar a condutividade hidráulica tanto do material quanto das zonas de transição entre placas, áreas críticas para o comportamento hidrológico do sistema.



(a) (b) (c)

Figura 3: Ensaios de infiltração conduzidos em três configurações distintas: no centro da placa (a), sobre juntas longitudinais posicionadas no eixo central do anel de infiltração (b) e sobre juntas em cruz localizadas no ponto médio do anel (c)

Foram selecionados pontos aleatórios representativos da área, atendendo ao critério normativo de 3 pontos para áreas ≤ 2.500 m² + 1 ponto adicional por 1.000 m² excedentes. A preparação da superfície foi realizada mediante varredura para remoção de sedimentos soltos, sem alterar a superfície do pavimento.

Para a realização dos ensaios de infiltração, conforme especificado pela ABNT (2015), foram utilizados os seguintes equipamentos: um anel de infiltração cilíndrico com diâmetro de 300 mm e altura de 50 mm, fabricado em material rígido e impermeável, contendo marcações internas de referência posicionadas a 10 mm e 15 mm da borda inferior; um recipiente calibrado com capacidade de 20 litros para controle preciso do volume hídrico; um cronômetro digital com resolução de 0,1 segundos para medição dos tempos de infiltração; massa de calafetar para garantir a vedação periférica do anel à superfície do pavimento; e água limpa livre de impurezas que pudessem interferir nos resultados dos ensaios. Todos os equipamentos foram previamente verificados quanto às suas condições de uso e adequação aos requisitos normativos.

O procedimento experimental seguiu o estabelecido pela ABNT (2015). Inicialmente, realizou-se a vedação do anel de infiltração à superfície do pavimento mediante aplicação periférica de massa de calafetar, garantindo completa estanqueidade e evitando quaisquer vazamentos laterais que pudessem comprometer os resultados. Procedeu-se então à etapa de pré-molhagem, na qual foram aplicados entre 200 e 400 mL de água limpa, mantendo-se o nível do líquido entre as marcações de referência (10 mm e 15 mm) no interior do anel. O tempo de absorção observado nesta fase determinou a massa de água a ser utilizada no ensaio principal, conforme estabelecido pela norma: para tempos de absorção inferiores a 30 segundos, empregou-se 18,00 ± 0,05 kg de água; para tempos iguais ou superiores a 30 segundos, utilizou-se 3,60 ± 0,05 kg (Tabela 3, ABNT NBR 16416:2015). O ensaio principal foi iniciado em um intervalo máximo de 2 minutos após a pré-molhagem, registrando-se com cronômetro digital (precisão de 0,1 s) o tempo necessário para completa infiltração da massa de água determinada. Este procedimento permitiu a obtenção de dados precisos sobre a capacidade de infiltração do pavimento permeável em estudo. A aderência à norma foi garantida mediante uniformização das condições ambientais (ensaios realizados em dias sem precipitação) e repetição dos testes para confiabilidade dos dados.

Conforme ABNT (2015), o coeficiente de permeabilidade (K) foi determinado mediante aplicação da Equação (1):

$$K = \frac{C \times m}{(d^2 \times t)} \quad (1)$$

Em que K é o coeficiente de permeabilidade (mm/h), m: massa de água infiltrada (kg), d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm), t é o tempo de percolação total (s) e C é o fator de conversão de unidades do SI (4.583.666.000). Esta formulação permite a conversão direta das unidades de medida para o sistema internacional, garantindo a padronização dos resultados conforme estabelecido pela norma técnica. O coeficiente obtido representa a capacidade hidráulica do pavimento permeável em estudo, expressando a velocidade de infiltração da água através da estrutura porosa.

Resultados e Discussão

Em todos os ensaios realizados nos dias 24 de maio e 26 de junho de 2024, os testes de pré-molhagem apresentaram tempos de absorção superiores a 30 segundos. Consequentemente, conforme estabelecido pela ABNT (2015), foi adotada uma massa de água padronizada de 3,6 kg (±0,05 kg) para a execução dos ensaios principais de infiltração. Os dados completos dos testes, incluindo tempos de infiltração e coeficientes de permeabilidade calculados, encontram-se detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de coeficiente de permeabilidade obtidos para o pavimento permeável

Ponto	t (s)	k (mm/h)	k (m/s)	Localização
1	480	382	$1{,}06 \times 10^{-4}$	Centro da placa
2	3600	51	$1{,}41 \times 10^{-5}$	Centro da placa
3	3744	49	$1{,}36 \times 10^{-5}$	Centro da placa
4	3950	46	$1{,}29 \times 10^{-5}$	Centro da placa
5	4320	42	$1{,}18 \times 10^{-5}$	Junta logitudinal
6	5400	34	$9{,}40 \times 10^{-6}$	Junta logitudinal
7	1741	105	$2{,}93 \times 10^{-5}$	Junta logitudinal
8	191	960	$2{,}66 \times 10^{-4}$	Junta logitudinal
9	418	439	$1{,}22 \times 10^{-4}$	Junta cruzada central
10	1153	159	$4{,}42 \times 10^{-5}$	Junta cruzada central
11	2160	85	$2{,}36 \times 10^{-5}$	Junta cruzada central

Fonte: Elaborado pelos autores

Segundo ABNT (2015) o pavimento permeável deve apresentar, quando recém-construído, coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s. Essa avaliação deve ser realizada *in loco* após a execução do pavimento, conforme preconizado pela norma. No Quadro 1 apresenta-se uma relação entre o coeficiente de permeabilidade e a classificação do grau de permeabilidade, indicando que um material com coeficiente superior a 10^{-3} m/s é considerado com alto grau de permeabilidade, já um com coeficiente inferior a 10^{-9} m/s é considerado praticamente impermeável.

Quadro 1 – Classificação do grau de permeabilidade em função dos valores de coeficiente de permeabilidade

Coeficiente de permeabilidade		Grau de permeabilidade
m/s	mm/h	
$>10^{-3}$	> 3600	Alta
10^{-3} a 10^{-5}	3600 a > 36	Média
10^{-5} a 10^{-7}	36 a > 0,36	Baixa
10^{-7} a 10^{-9}	0,36 a 0,0036	Muito baixa
<10–9	< 0,0036	Praticamente impermeável

Fonte: ABNT (2015)

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que a maioria dos pontos avaliados no pavimento em estudo apresentou permeabilidade média, indicando um desempenho satisfatório, mesmo após 7 anos de uso, com exceção do ponto 6 que apresentou baixa permeabilidade, possivelmente devido a compactação excessiva durante a execução ou a entupimento dos vazios por sedimentos ou material particulado.

De acordo com Marchioni e Becciu (2014), para validar a permeabilidade de um pavimento, é fundamental determinar o coeficiente de permeabilidade *in situ*, sendo que valores superiores a 1×10^{-5} m/s indicam que o pavimento funcionará adequadamente. Esses requisitos técnicos refletem a necessidade de equilíbrio entre desempenho hidrológico e durabilidade estrutural em projetos de infraestrutura urbana sustentável. Segundo Borgwardt (2006), o comportamento dos pavimentos pode ser influenciado pelo processo de envelhecimento, decorrente da acumulação de finos e matéria orgânica em sua estrutura. Ao longo do tempo, acontece uma redução de 10% a 25% na porosidade da estrutura, o que compromete diretamente sua capacidade de infiltração. De forma geral, o autor conclui que, após cerca de 20 anos de uso, a taxa de infiltração pode sofrer uma queda de até 80%. Brattebo e Booth (2003) concluíram que as estruturas permeáveis apresentam resistência comparável à do pavimento asfáltico convencional. Após um período de seis anos de operação, os sistemas desse piso drenante mantiveram desempenho estrutural e operacional satisfatório. Os autores destacam, ao final do estudo, a relevância dessa solução como tecnologia sustentável, bem como sua viabilidade de implementação em ambientes urbanos.

Na Figura 4 apresenta-se boxplot comparativos de valores de coeficiente de permeabilidade, em mm/h, determinados para o pavimento permeável no centro das placas de concreto permeável, sobre juntas longitudinais posicionadas no eixo central do anel de infiltração, e sobre juntas em cruz localizadas no ponto médio do anel. Os resultados obtidos na condição de junta longitudinal central (representados pelo boxplot laranja) demonstraram os maiores valores de coeficiente de permeabilidade, com média superior às demais condições analisadas. Esta condição também apresentou a maior variabilidade nos dados, indicando maior dispersão dos resultados. Em ordem decrescente de desempenho, os ensaios realizados na condição de junta cruzada central (barra cinza) registraram valores intermediários de permeabilidade. Por fim, as medições efetuadas no centro da placa (barra azul) apresentaram os menores valores de coeficiente de permeabilidade entre as três condições avaliadas.

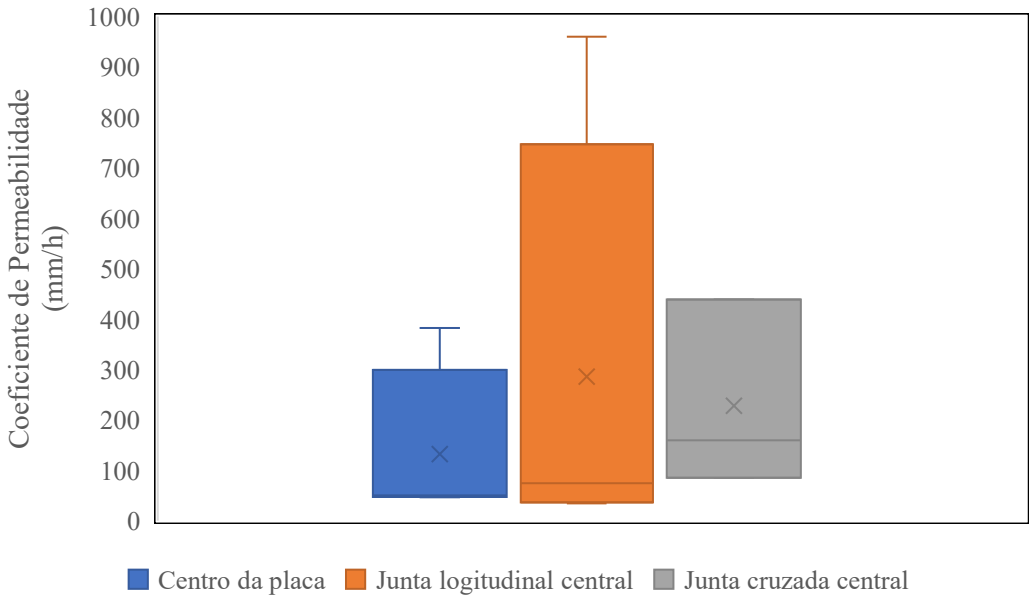


Figura 4: Boxplot comparativo de valores de coeficiente de permeabilidade (mm/h) determinados para o pavimento permeável i) no centro das placas de concreto permeável, (ii) sobre juntas longitudinais posicionadas no eixo central do anel de infiltração, e (iii) sobre juntas em cruz localizadas no ponto médio do anel.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo para a permeabilidade de pavimentos permeáveis no Campus da Fiocruz-CE reforçam a viabilidade técnica desse tipo de medida como alternativa para a drenagem urbana, especialmente em contextos em que a gestão das águas pluviais é crítica. A Fiocruz-CE exemplifica como instituições podem aliar pesquisa científica a práticas ambientais. Seu modelo de "campus-esponja" não apenas mitiga impactos urbanos, mas também oferece subsídios para políticas públicas em regiões secas, reforçando o papel da ciência na construção de cidades mais sustentáveis.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação Osvaldo Cruz pela cooperação na execução desta pesquisa. Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto “Avaliação de técnicas compensatórias de baixo impacto para o gerenciamento de águas pluviais urbanas” (405958/2023-4).

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.416: pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 24 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI Committee 522. 522R-10 Report on Pervious. 2010, 38p.

AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKIH, E. 1994.; **Techniques alternatives en assainissement pluvial**. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372 p. 1994.

BORGWARDT, S. Long-term in-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving, San Francisco, CA, USA**. 2006.

BRATTEBO, B. O.; BOOTH, D. B. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. **Water research**, v. 37, n. 18, p. 4369-4376, 2003.

CARVALHO, N. E. **Desenvolvimento de baixo impacto no manejo de águas pluviais urbanas: uma proposta para o município de Campinas.** 2019. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ: CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA (FIOCRUZ).2021. Disponível em: https://ceara.fiocruz.br/portal/index.php/institucional/historia/ Acesso em: 15 de dezembro de 2024.

MARCHIONI, M. L; BECCIU, G. Permeable pavement used on sustainable drainage systems (SUDs): a synthetic review of recent literature. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 139, p. 183-194, 2014. DOI: https://doi.org/10.2495/UW140161.

ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DE CHEIAS ATRAVÉS DO RESERVATÓRIO DE RETENÇÃO DE UBERABA - MG

1Maria Natália Saran, 2Luiz Fernando Resende dos Santos Anjo, 3Rodrigo Soares Garcia da Silva, 4Stênio de Sousa Venâncio

1Universidade Federal de São Carlos, e-mail: maria.saran@estudante.ufscar.br; 2Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: luiz.anjo@uftm.edu.br; 3Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: rodrigo.silva@uftm.edu.br; 4Universidade Federal do Triângulo Mineiro, e-mail: stenio.venancio@uftm.edu.br

Palavras-chave: Inundações urbanas; Reservatório de retenção; Hidrograma de atenuação.

Resumo

O processo de urbanização das cidades brasileiras foi marcado pela ausência de ações de conservação das características originais das bacias hidrográficas, culminando na modificação da hidrodinâmica dos rios e córregos naturais com consequente aumento da velocidade de escoamento. A partir da impermeabilização das áreas, volumes de água que inicialmente eram drenados por via subsuperficial ou subterrânea, passaram a contribuir de forma rápida e volumosa para o escoamento superficial. Esse fato, juntamente ao processo de retificação dos canais de drenagem fizeram com que a capacidade de escoamento desses últimos fosse extrapolada dentro de uma crescente frequência, principalmente considerando os cenários de mudanças do clima e intensificação de chuvas intensas observadas nas últimas décadas. A cidade de Uberaba-MG, situada na região do Triângulo Mineiro, com população em torno de 350.000 habitantes, apresenta um histórico de impactos diretos provocados por eventos de chuva extremos, principalmente no seu talvegue principal. As iniciativas de retificação dos canais de macrodrenagem não se mostraram suficientes, apresentando para a área urbana apenas uma estrutura de retenção de cheias, constituída por dois reservatórios em série com 226.550 m³ de volume de armazenamento. Nesse contexto, um conhecimento da característica operacional desse reservatório e consequentemente da sua eficiência, atuaria como parâmetro fundamental para o entendimento hidrodinâmico da retenção de água em estruturas dessa natureza assim como para a proposição de iniciativas correlatas ou complementares em outras áreas da cidade, a fim de mitigar os reais impactos verificados. Para essa análise, além de dados de campo disponíveis referentes a fisiografia da bacia de contribuição, dados climatológicos e do reservatório de detenção, é utilizado como ferramenta o software Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas (SSD ABC6). O resultado da análise das ondas de cheia típicas, considerando períodos de retorno de 25 anos, apontou para uma eficiência geral de retenção da vazão de pico de 64,34%, além de um retardo de 1 hora e meia no tempo de pico. Contudo, a eficiência verificada da estrutura hidráulica analisada aponta para uma necessidade de expansão de medidas estruturais semelhantes e complementares que, somadas as medidas de ordem não estrutural possam ser incorporadas na bacia urbana, mitigando de forma significativa os efeitos das inundações recorrentes no município.

Introdução

Durante a urbanização das cidades brasileiras não houve preocupação com a drenagem urbana, dessa forma, o aumento das áreas urbanizadas ocorreu a partir das zonas mais baixas próximas as várzeas dos rios, e logo essas áreas foram incorporadas ao sistema viário a partir da canalização dos cursos de água (CANHOLI, 2005).

Juntamente com este fator ocorreu a impermeabilização do solo através da camada asfáltica tanto nas áreas de várzea, quanto com o decorrer dos anos nas áreas altas ocasionando por consequência o aumento da vazão máxima e a aceleração do escoamento superficial, que seguem o relevo natural do solo, levado a água para as áreas mais baixas, ocupadas pelos cursos d'água, causando em muitos casos inundações nestes pontos (TUCCI,2004).

Os impactos causados por esses eventos são sentidos em todos os eixos da sociedade, desde no poder público, com a degradação de vias e passeios, à propriedade privada, de comerciantes e moradores das áreas afetadas.

Diante de todo esse cenário, são necessárias novas soluções para adequação dos sistemas existentes, como forma de evitar as inundações que começam a ocorrer, uma das soluções propostas recorrentemente são os reservatórios de retenção, que tem como objetivo reter parte do volume de água durante as chuvas, reduzindo assim o pico de vazão e o impacto em jusante (TUCCI, 2004).

Os reservatórios atuam de forma a armazenar um volume de água, até a cota do primeiro nível de vertedor até iniciar a liberação gradual desta água no canal. Com esse sistema retarda-se a chegada da água ao canal dando a possibilidade de liberação da vazão antes de causar a inundação.

Vários são os estudos que demonstram a eficiência desses dispositivos na redução da vazão de pico e no retardo do tempo de pico após uma chuva intensa. Por exemplo, Vergutz, Pereira e Schmidt (2019) estudaram uma bacia com 46,86 km² de área em Uberlândia/MG e obtiveram uma redução de 209,63% na vazão de pico para período de retorno de 20 anos. Silva e Cabral (2014) concluíram que um reservatório de detenção em uma bacia de 0,40 km² instalada em Recife poderia reduzir em até 80% a vazão de pico, enquanto outras técnicas como a retenção em lote poderiam reduzir até 60% das vazões de pico durante um evento de chuva intensa.

No caso de Uberaba-MG, os córregos que cortavam a cidade foram canalizados a fim de permitir a construção das grandes avenidas, a área ao redor desses córregos foi toda impermeabilizada pelo asfalto e a construção, o que ocasionou inundações frequentes, principalmente na principal via, a Avenida Leopoldino de Oliveira.

A partir desta constatação de inundação, foi proposta a construção de 4 reservatórios de detenção em pontos estratégicos da cidade, porém destes houve a instalação de um único sistema de retenção de cheia, composta por dois reservatórios de retenção, que serão os objetos de análise deste trabalho.

A partir dos dados construtivos dos reservatórios da cidade de Uberaba/MG, dos dados pluviométricos e das características das bacias hidrográficas envolvidas, será avaliada a diminuição da vazão de pico, representada pela existência do reservatório de retenção. Este estudo visa identificar, para eventos extremos, os possíveis gargalos de eficiência do sistema de atenuação de cheias e, assim, permitir, analisar e propor medidas estruturais e não estruturais para melhorias do sistema de macrodrenagem local.

Materiais e Métodos

A bacia hidrográfica objeto do estudo está localizada no município de Uberaba/MG, município com 337.836 habitantes (IBGE, 2023) e tem como talvegue principal o Córrego Santa Rita, importante afluente da parcela inicial do Córrego das Lajes. O Córrego das Lajes é um corpo hídrico que está canalizado abaixo da principal via de tráfego da cidade, a Avenida Leopoldino de Oliveira, sendo que esse talvegue corta toda a região central da cidade, impossibilitando o cruzamento de veículos e pedestres de um lado da cidade para o outro quando ocorre um evento de inundação.

Para delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita (Bacia L1), e consequente determinação da área, foi utilizada a ferramenta *r.water.outlet* do plugin Grass do software QGIS a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE). Este MDE possui resolução de 30 metros e foi obtido através do programa Copernicus da União Europeia. Também se calculou o índice de compacidade para verificar a tendência a grandes inundações na bacia hidrográfica. A área total e o índice de compacidade foram igualmente calculados para a bacia do Córrego das Lajes.

Próximo ao exutório do Córrego Santa Rita existe um sistema de atenuação de cheias formada por duas bacias de retenção nomeadas R1 e R2. A bacia R1 recebe as águas pluviais da bacia L1. Já a bacia de retenção R2 recebe as águas a jusante do R1 e as águas da bacia L2. Para conectar as águas pluviais da bacia L2 ao reservatório R2 foi construído um sistema de transposição através de galerias de drenagem, pois o escoamento natural da bacia L2 é através do Córrego das Lajes. Na Figura 1 a bacia L1 está ilustrada na cor vermelha, enquanto a bacia L2 está ilustrada na cor verde. Na direção sudoeste está o fluxo do córrego Santa Rita, enquanto o Córrego das Lajes flui na direção noroeste.

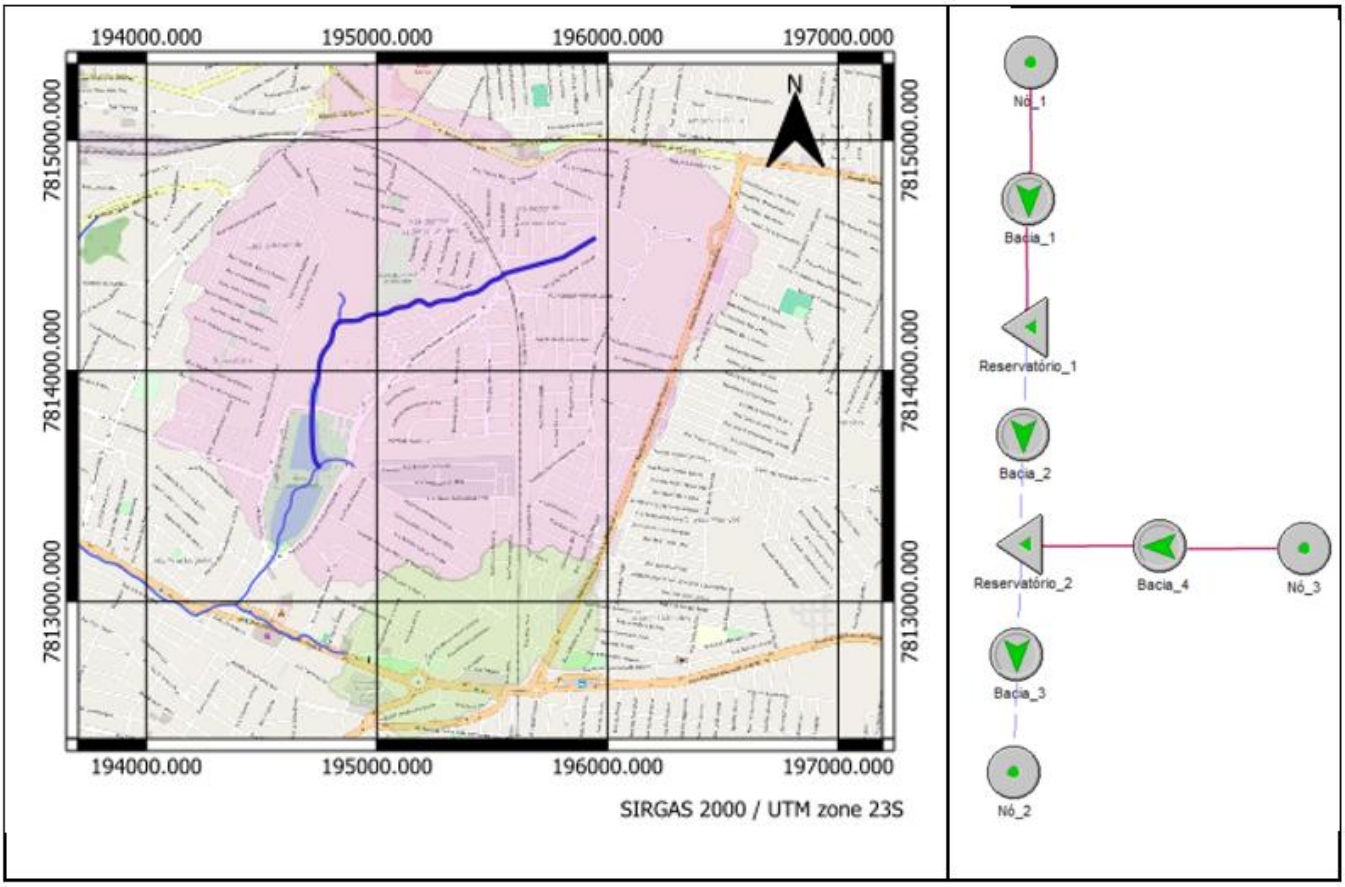


Figura 1: Mapa com a localização das bacias do Córrego Santa Rita (L1) em rosa e da bacia pertencente ao Córrego das Lajes (L2) em verde. A direita tem-se o fluxograma com o modelo criado no software ABC6.

Para a verificação do projeto e funcionamento do sistema de atenuação de cheias, foram realizadas modelagens hidráulico-hidrológicas para três cenários. No primeiro cenário considerou-se o projeto original das bacias de retenção que foi concebido para período de retorno (T) de 25 anos (modelo ilustrado na Figura 1) e foi elaborado um hidrograma de vazões na saída de R2. Para o segundo cenário foi criado o hidrograma no mesmo ponto do cenário 1 mostrando as condições da chuva de projeto (T=25anos) sem a presença do sistema de atenuação de cheias. No cenário 3 observou-se o hidrograma na saída do reservatório R2, considerando a maior precipitação em 2 horas de duração entre os anos de 2014 e 2024, e foi verificado o período de retorno para essa precipitação. A escolha pelo tempo de duração de duas horas se deu através da verificação dos dados de precipitação entre 2014 e 2024, em que foi notória a ausência de eventos de chuvas intensas com duração maior do que 2 horas no município de Uberaba/MG. O período inicial em 2014 se deve à ausência de dados de outras estações pluviométricas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados de precipitação foram obtidos da estação meteorológica automática A568, pertencente ao INMET e que fornece dados de precipitação com intervalos de 1 hora. Devido ao intervalo dos dados, a duração de chuva adotada no terceiro cenário foi de 2 horas, ante ao período de 1,5 horas utilizadas nos cenários anteriores.

As modelagens foram realizadas através do software denominado Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas (SSD-ABC6), versão 1.35. Este programa é disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Para a modelagem computacional serão usados como dados de entrada o intervalo de discretização, o período de retorno, o modelo de chuvas excedentes, o modelo de hidrograma as características dos canais de escoamento e as características construtivas dos reservatórios.

Os desenvolvedores do programa recomendam utilizar como intervalo de discretização o valor de 10% do tempo de concentração da bacia. Porém, o tempo de discretização adotado no projeto do sistema de atenuação de cheias foi de 30 minutos (UBERABA, 2009). Sendo assim, manteve-se as condições adotadas no projeto original.

Para o cálculo do tempo de concentração da bacia optou-se pela utilização do método da onda cinemática, por ser indicado para bacias pequenas e urbanas. Cabe destacar que o SSD-ABC6 permite utilizar apenas 6 opções de equações para tempo de concentração, sendo a maioria delas destinadas à áreas rurais. Quanto ao modelo de chuvas excedentes, a escolha se deu pelo método SCS e consequentemente, para o modelo de hidrograma foi escolhido o Triangular SCS, assim como no projeto original dos reservatórios. Os dados dos canais foram obtidos em campo através do projeto original do sistema de atenuação de cheias e estão relacionados na Tabela 1 (UBERABA, 2009).

Tabela 1 – Parâmetros adotados no projeto original e na modelagem no ABC6

Parâmetros de entrada	Bacia L1	Bacia L2
Área total da bacia (km²)	3,89	1,01
Área impermeável (%)	80	82
Período de retorno (anos)	25	25
Tempo de concentração (min)	0,68	0,67
Comprimento do canal (m)	1858,40	1368,00
Declividade (m/m)	0,0172	0,0157
Rugosidade de Manning	0,018	0,018
Número de curva SCS (Condição II)	90	90

Fonte: Elaborado pelos autores

Para o modelo de chuvas excedentes é necessário entrar com os dados de precipitação. Para os cenários 1 e 2 foi utilizada a equação intensidade-duração-frequência (IDF) desenvolvida para o projeto inicial dos reservatórios de retenção. Essa equação foi desenvolvida a partir dos dados de precipitação obtidas na estação 83577 do INMET para o período entre 1914 e 1990. Considerando a equação IDF e o período de retorno adotado de 25 anos, utilizou-se o método dos blocos alternados para criação do hietograma que foi inserido no SSD-ABC6.

As características construtivas dos reservatórios de retenção foram obtidas no projeto original cedido pela prefeitura de Uberaba.

O reservatório R1 conta com estrutura de descarga composta por orifício de fundo operando em descarga livre ou afogado, a depender da cota durante o evento chuvoso, de um vertedor em tulipa em descarga livre e vertedor de parede espessa em descarga livre como dispositivos de controle, sendo estes responsáveis pelo não extravasamento da água contida neste sistema para a vazão de projeto (T=25 anos). Todos esses dispositivos retiram e encaminham as águas pluviais para o Reservatório 2. O nível de água em R1 é mantido constante na cota 769,00 m e o volume útil de armazenamento é de 102.730 m³(UBERABA, 2009).

O reservatório R2 conta com vertedor do tipo tulipa com soleira à cota 765,50 m, que é complementado por um orifício instalado em seu poço de queda com soleira na cota 761,50 que é a cota do nível de água (NA) permanente de R2. O volume máximo de armazenamento de R2 é de 123.820 m³ (UBERABA, 2009).

Com todos os pontos de análise (conforme fluxograma da Figura 1) e dados inseridos no software SSD-ABC6 efetuou-se a modelagem hidráulico-hidrológica visando obter o hidrograma do nó a jusante do reservatório 2 (Nó_2 da Figura 1) para os três cenários.

Resultados e Discussões

A área calculada da bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita (L1) foi de 3,89 km². Esse cálculo foi importante, pois os dados do projeto original para implementação de obras de macrodrenagem (Uberaba, 2009) apontava uma área de 3,39 km². Esta discrepância de valores representa um aumento de 14,75% na área de drenagem e consequentemente um aumento significativo na vazão a montante do sistema de atenuação de cheias.

Para a bacia hidrográfica do córrego das Lajes a área calculada com uso do software QGIS foi de 26,45 km². O Plano Municipal de Saneamento Básico (Uberaba, 2014) e o projeto original para implementação de obras de macrodrenagem (Uberaba, 2009) apontavam áreas respectivamente de 27,04 km² e de 26,38 km². A Figura 1 aponta a delimitação da área da bacia realizada no software QGIS.

A partir dos resultados de área e da delimitação das bacias hidrográficas de interesse foram calculados os valores do perímetro da bacia, com intuito de realizar o cálculo do fator de compacidade. O perímetro dos limites da bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita e do Córrego das Lajes foi de 9,03 Km e 25,85 Km respectivamente. O resultado obtido para o fator de compacidade na bacia do Córrego Santa Rita foi de 1,29, enquanto não houve esse cálculo no projeto original do sistema de atenuação de cheias. Na bacia do Córrego das Lajes o fator de compacidade foi de 1,42 enquanto no Plano Municipal de Saneamento Básico (Uberaba, 2014) o valor resultante foi de 1,28. Entretanto, esta diferença não é significativa, pois todos resultados do fator de compacidade ficaram dentro do intervalo de 1,25 a 1,5, que indica uma bacia com tendência mediana a grandes inundações (VILELLA; MATTOS, 1975).

Essas discrepâncias observadas nos resultados de área, perímetro e índice de compacidade obtidos com os resultados apontado no PMSB podem ser decorrentes do MDE utilizado. No PMSB não são relatados detalhes sobre o MDE utilizado, enquanto o MDE utilizado nesse trabalho é datado de maio de 2024. Bielski et al (2024) apontam que os MDE gerados nos programas atuais como no caso do Copernicus, possuem qualidade superior aos MDE mais antigos. Como exemplo de MDE antigo os autores citam o SRTM, sendo que este foi amplamente utilizado no Brasil nos anos 2010.

Sobre a modelagem hidráulico-hidrológica realizada no SSD-ABC6, comparando-se os cenários 1 (com reservatórios) e 2 (sem reservatórios) obteve-se como resultados a redução de 64,64% na vazão do pico de cheia observada a jusante do reservatório R2, sendo que essa passou de 54,41 m³/s para 19,41 m³/s considerando o período de retorno de 25 anos. Também ocorreu o aumento do tempo de vazão de pico de cheia em 1,5 horas, passando de 1,0 hora para 2,5 horas. Ressalta-se que esse tempo de retardo poderia ser ainda maior se o tempo de discretização adotado fosse inferior. Mas optou-se por manter o tempo utilizado no projeto original das bacias de retenção. Esses dados podem ser visualizados na Figura 2.

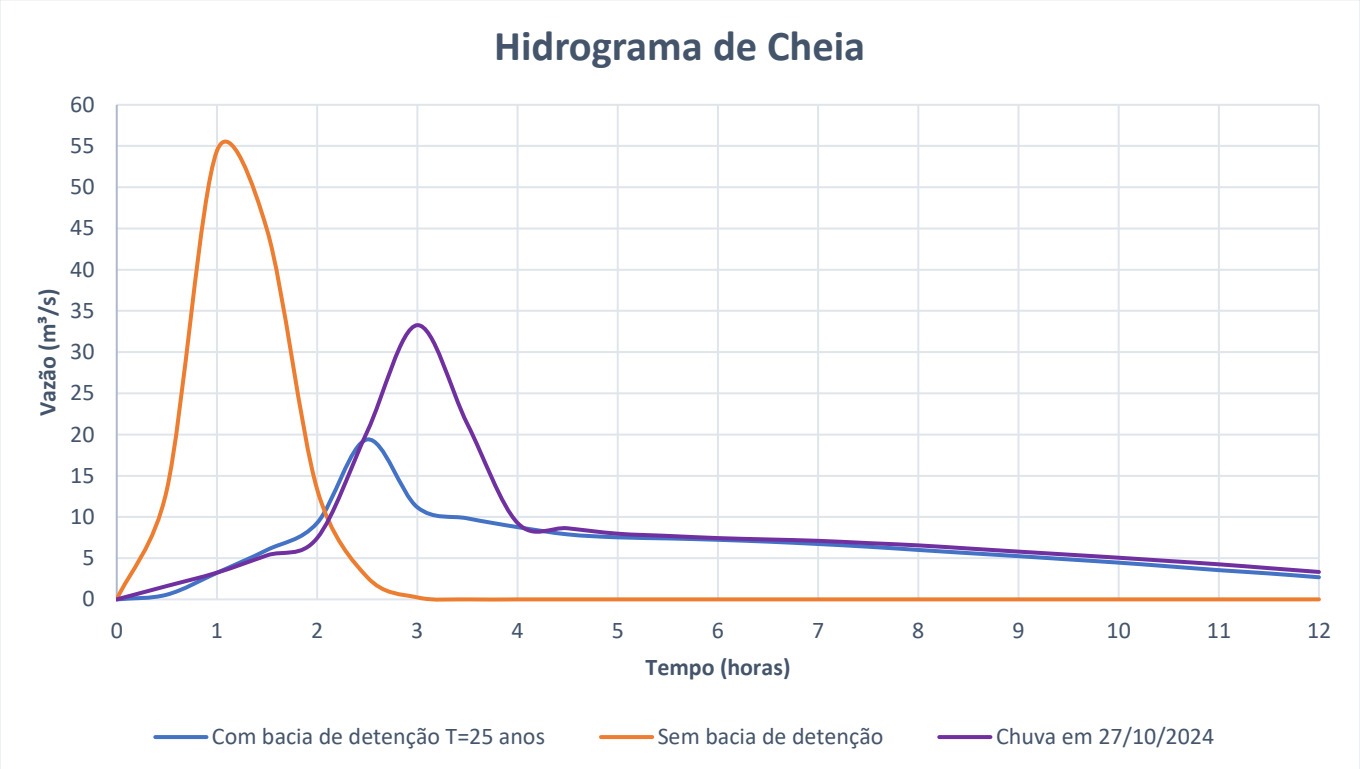


Figura 2: Hidrograma de vazões para os três cenários estudados.

Ainda na Figura 2 é possível notar a presença dos resultados do cenário 3, que obteve uma redução da vazão de pico de 38,86% quando comparado ao cenário 2 (com a ausência dos reservatórios de retenção). Quando o cenário 3 é comparado ao cenário 1 observa-se um aumento na vazão de pico de 71,43%. Esse aumento ocorre pois, ao compararmos a lâmina d'água precipitada na da tarde do dia 27/10/2024, durante 2 horas, com a equação IDF do projeto, temos um período de retorno de 95,7

anos para esse evento chuvoso. Como o cenário 1 foi projetado para T=25 anos, é natural que as vazões de uma precipitação de T=95,7 anos seja maior. Como o projeto original apresentou apenas uma tabela com os resultados da equação IDF para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, ao invés de uma equação, foi utilizada a interpolação logarítmica para obter os resultados do período de retorno nos eventos chuvosos analisados.

Ainda sobre o cenário 3, a precipitação observada foi de 57,8 mm na primeira hora e de 23,4 mm na segunda hora, totalizando 81,2 mm em 2 horas. Se fosse considerado o período de apenas 1 hora na análise da precipitação ocorrida em 2024, o valor seria inferior à precipitação ocorrida em 12 de dezembro de 2013, quando em 1 hora choveu 58 mm. Porém a análise de somente 1 hora retornaria um valor de período de retorno de 26,2 anos para a chuva de 2013 e de 25,6 anos para a chuva de 2024. Se a análise de 2024 não considerasse a segunda hora de chuva, o hidrograma de cheia seria muito similar ao cenário 1. Por isso é importante observar não apenas os valores extremos em um evento chuvoso, mas também os valores de precipitação nas demais horas do mesmo dia. Principalmente os intervalos de tempo próximos ao pico de chuva.

É válido ressaltar também sobre a continuidade de ocorrências de inundações na cidade de Uberaba mesmo após a implantação das bacias de retenção, apesar da diminuição do impacto das inundações na área urbana quando comparada aos eventos que ocorriam antes destas obras. Uma das justificativas se deve à pequena área das bacias L1 e L2, quando comparadas à totalidade da bacia hidrográfica do córrego das Lajes. As bacias L1 e L2 somadas resultam em apenas 18,53% da bacia do Córrego das Lajes.

Além disso, devem ser observados para projetos futuros períodos de retorno superiores aos 25 anos, sendo que Canholi (2005) sugere que o tempo de retorno mínimo a ser adotado em sistemas de atenuação de cheias seja de 50 anos, podendo chegar até 100 anos. Essa necessidade de aumento no período de retorno é corroborada pelo Decreto Municipal 3.185/2021 que atualizou as diretrizes de projetos de drenagem para o município de Uberaba, estabelecendo que este deve ser de ao menos 50 anos até para os projetos de microdrenagem (Uberaba, 2011).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS) entre 2018 e 2022 ocorreram 52 enxurradas e 11 inundações em Uberaba/MG, resultando em 756 pessoas desabrigadas (BRASIL, 2023). Grande parte desses eventos ocorreram na bacia do Córrego das Lajes, a jusante do exutório do Córrego Santa Rita.

Estas ocorrências remetem sobre a necessidade da ampliação do sistema de amortecimento de cheias, algo que já era previsto no projeto do sistema de atenuação de cheias do Córrego Santa Rita. No projeto de 2009 existiam estudos de concepção para a construção de outros três reservatórios de detenção em pontos estratégicos da cidade. Esta medida tinha o intuito diminuir o volume de cheias presente no ponto mais baixo do vale urbano (Avenida Leopoldina) que tem como receptor principal o córrego das Lajes. Porém as obras não foram executadas e nos locais onde estavam previstos 2 dos 3 reservatórios de retenção foram autorizadas a ocupação por grandes centros comerciais e residenciais, tornando-se impossível a construção destes reservatórios.

Atualmente, ao se estudar a área da bacia hidrográfica do Córrego das Lajes nota-se que não existem mais parcelas de solo disponíveis para construção de grandes obras estruturais para macrodrenagem.

Sendo assim, é importante mencionar a possibilidade da implementação de técnicas compensatórias sustentáveis como por exemplo telhados verdes, pisos drenantes, reservatórios de lote, sistemas de aproveitamento de água de chuva (BAPTISA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). Como medidas não estruturais podem ser alteradas as regulamentações do código de edificações do município e ocorrer a adoção de programas de descontos de impostos para aqueles que aderirem às técnicas compensatórias, utilizando-se assim do princípio econômico ambiental do protetor-recebedor, que recompensa os usuários que contribuem para o desenvolvimento sustentável do município (GUTIERREZ; FERNANDES; RAUEN, 2017). Estas medidas poderiam viabilizar, inclusive, uma maior vida útil dos sistemas de macrodrenagem da cidade, exigindo menor frequência de manutenção e menores custos operacionais.

Conclusões

Através da construção do sistema de atenuação de cheias verificou-se uma redução significativa da vazão de pico superficial que flui até o exutório do Córrego Santa Rita. Isto representa uma diminuição do volume de cheia considerável para aquele setor da cidade e para as zonas a jusante da bacia do Córrego das Lajes. Dessa maneira, pode-se dizer que esta medida estrutural representou uma ferramenta de grande valia, cumprindo o seu papel específico a que foi projetada.

Entretanto, também foi apontado que os reservatórios de retenção (R1 e R2) precisariam passar por alterações estruturais para que se adequem aos eventos extremos que podem ocorrer com mais frequência. Exemplo disto foi a ocorrência de um acumulado de 81,2 mm de precipitação em duas horas em outubro de 2024. Este evento chuvoso compreendeu um período de retorno próximo aos 100 anos, e foi experenciada pelo município em outubro de 2024.

Essas conclusões são importantes para o estabelecimento de critérios de projeto para construções de sistemas de atenuação de chuvas futuros. Faz-se necessário a elaboração de uma equação IDF com dados mais recentes e a elevação do período de retorno adotado para as chuvas de projeto.

Agradecimentos

Agradecemos à Secretaria Municipal de Planejamento da Prefeitura de Uberaba que cedeu gentilmente os dados dos reservatórios de retenção.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2015. 2 ed. Porto Alegre: ABRH.

BIELSKI, C.; López-Vázquez, C.; Grohmann, C. H.; Guth, P. L.; Hawker, L.; Gesch, D.; Trevisani, S.; Herrera-Cruz, V.; Riazanoff, S.; Corseaux, A.; Reuter, H.I.; Strobl, P. 2024 **Novel approach for ranking DEMs**: Copernicus DEM improves one arc second open global topography. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 62, p. 1-22.

BRASIL. Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações de Saneamento. **Indicadores de drenagem urbana e manejo de águas pluviais.** 2023. Brasília: SNIS.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. 2005. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos.

GUTIERREZ, R. L.; FERNANDES, V.; RAUEN, W B. Princípios protetor-recebedor e poluidor-pagador como instrumentos de incentivo à redução do consumo de água residencial no município de Curitiba (PR). 2017. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 05, p. 899-909.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. 2023. Rio de Janeiro: IBGE.

SILVA, P. O.; CABRAL, J. J. S. P. Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. 2014. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 7-18.

TUCCI, C. E. **Hidrologia:** ciencia e aplicação. 2004. 4. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

UBERABA (MG). **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental dos reforços nos canais centrais da macrodrenagem urbana do centro da cidade de Uberaba**, Estado de Minas Gerais. 2009. Uberaba: Consórcio ENE Engenheiros Associados.

UBERABA(MG). Decreto nº 3.185, de 29 de julho de 2011. **Estabelece diretrizes para aprovação de projetos de infraestrutura básica, compreendido os equipamentos urbanos de escoamento de águas pluviais, esgotamento sanitário e abastecimento de água potável para implantação de parcelamento de solo no perímetro urbano de Uberaba e dá outras providências**. Diário Oficial do Município, Uberaba, 29 jul. 2011

UBERABA(MG). **Plano Municipal de Saneamento Básico de Uberaba**: Relatório Final. 2014. Uberaba: DRZ Gestão Ambiental. Volume I.

VERGUTZ, L. A. A.; PEREIRA, C. E.; SCHMIDT, M. A. R. Análise da implantação de reservatórios de detenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. 2019. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 1267-1277.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. 1975. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

— RESUMOS —

Sustentabilidade do Agronegócio



8º SSS

SUSTENTABILIDADE E ENERGIA SOLAR NO CAMPO: A PERCEPÇÃO DOS PRODUTORES RURAIS

1Gessica Candiotto Possamai, 2Lauanne Oliveira Pimentel
1Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: gessicapossamai@gmail.com; 2Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: lauanne.p@hotmail.com

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos; Santa Catarina; Propriedades rurais.

Introdução

O aumento do consumo energético e a crescente preocupação ambiental têm impulsionado o uso de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica (ESF), que liderou a geração de energia renovável mundial em 2023, com 36,5% da capacidade total (IRENA, 2024). No Brasil, a ESF alcançou 20,5% da matriz elétrica em novembro de 2024, sendo a segunda maior fonte de geração (ABSOLAR, 2024).

Entre as modalidades, destaca-se a geração distribuída (GD), caracterizada pela produção próxima ao local de consumo, conectada à rede de distribuição (IEA, 2002). Em Santa Catarina, a GD cresce nos setores residencial, comercial e rural, sendo o estado o 7º em número de instalações (ABSOLAR, 2024). No meio rural, a ESF contribui para a redução dos custos com eletricidade, principalmente em sistemas de irrigação (RAMANAUSKAS, 2019; RAZA *et al.*, 2022), favorecendo a competitividade e a resiliência das propriedades agrícolas.

A região da Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense (AMESC) destaca-se na agropecuária, com forte presença da agricultura familiar e da rizicultura (SANTA CATARINA, 2019; EPAGRI, 2023). Nos últimos cinco anos, a geração distribuída fotovoltaica (GDF) rural cresceu significativamente na região, com 257 unidades geradoras e 422 consumidoras (ANEEL, 2023). Esse avanço tecnológico está diretamente ligado ao fortalecimento da sustentabilidade no agronegócio, ao proporcionar redução de custos, menor dependência de fontes fósseis e diminuição da emissão de gases de efeito estufa.

Contudo, ainda são escassos os estudos sobre os impactos sociais da GDF no campo, principalmente no que se refere à percepção dos agricultores quanto aos benefícios e desafios associados à sua adoção. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a percepção ambiental e aceitação social da GDF no meio rural do Extremo Sul Catarinense, contribuindo para o entendimento dos efeitos sociais dessa tecnologia no campo, e sua relevância para o avanço de um agronegócio mais sustentável e alinhado às diretrizes da transição energética.

Material e Métodos

A pesquisa, de caráter exploratório e abordagem quali-quantitativa, consistiu em uma pesquisa de opinião com proprietários rurais da região da AMESC. A metodologia envolveu quatro etapas: definição da amostra, elaboração e aplicação dos questionários, e análise dos dados. O estudo abrangeu os 15 municípios da AMESC, com foco em propriedades rurais com GD de ESF. A amostragem foi aleatória simples, com 95% de confiança e 5% de margem de erro, totalizando 73 propriedades entrevistadas, conforme o cálculo proposto por Triola (2014). Os questionários foram elaborados com base na proposta de D'Aquino *et al.* (2024), adotando a abordagem do *Human Centered Design* (HCD), e aplicados presencialmente, de forma face a face, com o auxílio de um celular.

Tabela 1 - Perguntas realizadas aos proprietários rurais com sistema fotovoltaico instalado

Pergunta	Tipo de Resposta
1) Em que município você mora?	Resposta aberta
2) Qual sua idade?	Múltipla escolha (5 alternativas de faixa etária)
3) Qual sua escolaridade?	Múltipla escolha (alternativas com todos os graus de escolaridade)
4) Como você relaciona os aspectos abaixo em relação à geração de energia na sua propriedade? a. Tarifa de eletricidade b. Reclamação dos vizinhos c. Acidentes durante a instalação e a manutenção d. Instalação dos painéis e. Manutenção dos painéis f. Geração de energia sem emitir gases do efeito estufa g. Poluição visual h. Emissão de ruídos i. Economia de energia j. Mudanças climáticas k. Impacto na fauna e na flora l. Valorização da sua propriedade	Caixa de seleção (Positivo; Negativo; Não influencia; Não sei)

Fonte: Elaborado pelas autoras

Resultados e Discussão

Os respondentes da pesquisa são oriundos de diversos municípios pertencentes à AMESC. O município de São João do Sul se destacou com a maior proporção de participantes (21,05%), seguido por Jacinto Machado (18,42%) e Turvo (14,47%). Outras cidades com participação significativa incluem Araranguá (9,21%), Meleiro (7,89%) e Praia Grande (7,89%). Já municípios como Balneário Gaivota, Ermo, Maracajá e Passo de Torres apresentaram menor representatividade, com percentuais variando entre 1,32% e 3,95%.

Observou-se uma predominância de participantes na faixa etária entre 44 e 61 anos, representando 71,05% do total. Esse perfil indica uma predominância de respostas de pessoas em fase madura da vida, o que pode refletir tanto a experiência no setor agrícola quanto a receptividade em relação à adoção de novas tecnologias, como o sistema fotovoltaico. Quanto ao nível de escolaridade, verificou-se que a maioria dos respondentes possui formação básica: 32,89% possuem ensino fundamental entre o 1º e o 5º ano, e 30,26% entre o 6º e o 9º ano, refletindo a realidade educacional da região.

A totalidade dos participantes (100%) indicou que a redução da tarifa de eletricidade é um fator positivo, reforçando esse benefício econômico como a principal motivação para a adoção da tecnologia. No tocante a possíveis reclamações de vizinhos, apenas 1,32% identificaram esse aspecto como negativo. Em relação à segurança, 72,37% afirmaram que não há qualquer influência negativa e os demais avaliaram como positiva, evidenciando uma percepção consolidada de confiabilidade e segurança associada ao uso dessa tecnologia, possivelmente decorrente da evolução técnica dos sistemas e da ausência de registros de incidentes relevantes.

No que se refere à instalação dos sistemas, 57,89% dos entrevistados consideraram que esse fator não interfere em sua decisão, o que indica que o processo é percebido como simples ou adequadamente gerenciado. A manutenção dos painéis também foi avaliada de forma positiva por 72,37% dos participantes, sugerindo que não é vista como onerosa ou trabalhosa pela maioria.

De forma geral, os resultados apontam para uma percepção bastante favorável dos proprietários rurais em relação à adoção da energia solar fotovoltaica, com ênfase nos ganhos econômicos e em aspectos operacionais como segurança, facilidade de instalação e manutenção. Barreiras como estética, queixas de vizinhos ou risco de acidentes mostraram-se pouco expressivas, indicando crescente aceitação e valorização dessa alternativa energética nas propriedades rurais.

Em relação aos aspectos ambientais, a Figura 1 apresenta a percepção dos participantes sobre diferentes dimensões da geração fotovoltaica, incluindo a produção de energia limpa (sem emissão de gases de efeito estufa), ausência de poluição visual e sonora, contribuição para o enfrentamento das mudanças climáticas, impactos sobre a fauna e flora, e valorização do imóvel.

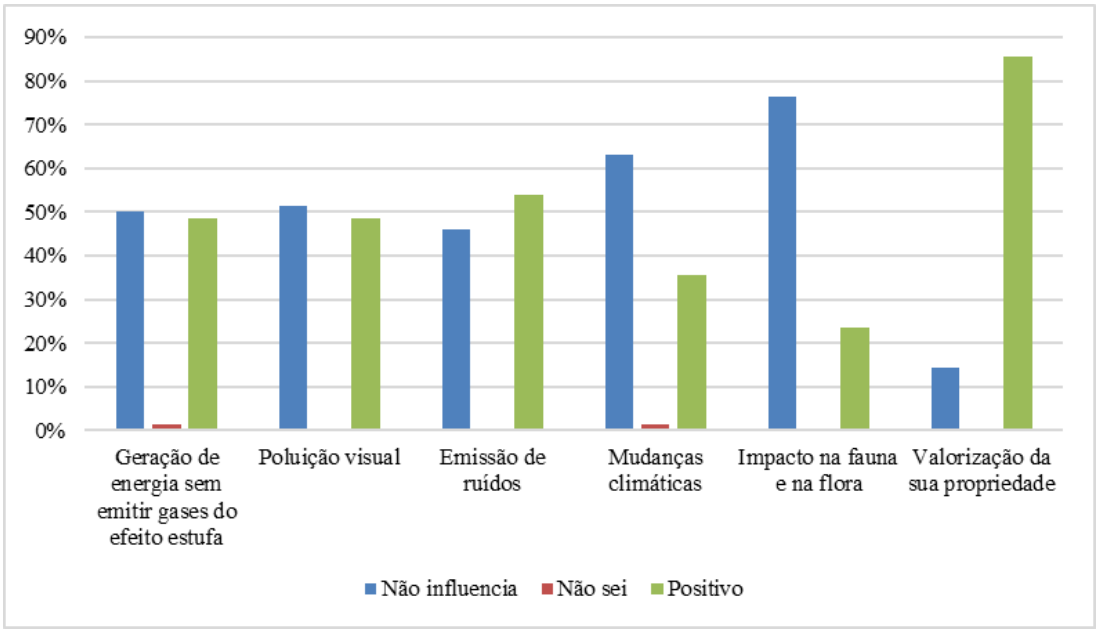


Figura 1: Relação dos aspectos produção de energia sem emissão de gases de efeito estufa, poluição visual, emissão de ruídos, impacto nas mudanças climáticas, efeitos sobre a fauna e flora, e a valorização da propriedade.

A geração de energia fotovoltaica foi amplamente reconhecida pelos entrevistados como uma alternativa sustentável, porém sua influência na decisão de adoção ainda é variável. Enquanto 48,68% consideraram positiva a produção de energia sem emissão de gases de efeito estufa, 50% afirmaram que isso não influencia sua decisão, reforçando que o principal fator motivador continua sendo a economia na conta de energia.

Quanto à poluição visual, as opiniões se dividiram: 51,32% não veem influência significativa, enquanto 48,68% a consideram um aspecto positivo. A emissão de ruídos foi avaliada de forma semelhante, com 53,95% reconhecendo a operação silenciosa como um benefício, e 46,05% indicando que esse fator não influencia sua percepção.

Em relação ao impacto nas mudanças climáticas, apenas 35,53% enxergam um efeito positivo da energia solar, frente a 63,16% que não veem influência, evidenciando a necessidade de maior conscientização sobre a contribuição dessa fonte para a

mitigação do aquecimento global. Como aponta Micheletti (2023), o uso de fontes renováveis auxilia na redução da emissão de gases poluentes, favorecendo a preservação ambiental.

Sobre os efeitos na fauna e flora, 76,32% consideraram que a energia fotovoltaica não interfere significativamente no equilíbrio ecológico, enquanto 23,68% destacaram um impacto positivo. Já a valorização da propriedade foi amplamente reconhecida, sendo apontada por 85,53% dos respondentes como um benefício direto da instalação dos sistemas solares.

Em síntese, os dados revelam que, embora os benefícios ambientais da energia solar sejam reconhecidos, os aspectos mais valorizados continuam sendo a economia financeira e a valorização do imóvel. Questões como mudanças climáticas e impactos ecológicos ainda têm baixa percepção entre os participantes da região da AMESC, o que reforça a importância de estratégias de sensibilização e informação.

Conclusão

Embora os aspectos ambientais da energia fotovoltaica sejam reconhecidos, eles não se configuram como o principal fator motivador para a escolha do sistema. A economia gerada na conta de energia elétrica foi, de fato, o fator mais determinante, com os benefícios ambientais sendo percebidos como um adicional, mas não como a principal razão para a adoção da GDF.

Essa realidade evidencia que, no contexto do agronegócio, a sustentabilidade econômica ainda é o principal motor das decisões, mesmo quando essas decisões resultam também em ganhos ambientais. No entanto, a adoção da GDF representa um passo importante rumo à sustentabilidade do setor, pois alia redução de custos operacionais à diminuição da pegada de carbono das atividades agrícolas. À medida que cresce a conscientização sobre os impactos ambientais e as exigências do mercado por práticas sustentáveis aumentam, espera-se que os fatores ambientais ganhem maior relevância nas decisões dos produtores rurais. Assim, a energia solar se consolida como uma aliada estratégica para o agronegócio moderno, que busca aliar competitividade, responsabilidade ambiental e eficiência produtiva.

Referências Bibliográficas

ABSOLAR – Agência Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. (2024). **Energia solar fotovoltaica no Brasil.** Recuperado de https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2023). **Geração Distribuída.** Recuperado de https://abre.ai/mNSm

D'Aquino, C. de A., Moretto, E. V., Zwartjes, N. M., Silva, L. L., & Sachet, H. D. (2024). Design thinking methodology application to develop social acceptance questionnaire for renewables Technologies. *Social Sciences & Humanities Open*. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100912

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **MRG Araranguá.** (2023). Recuperado de http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/Dados_regioes/Ararangua.pdf.

IEA – Internacional Energy Agency. (2002). **Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets – Analysis**. Recuperado de https://www.iea.org/reports/distributed-generation-in-liberalised-electricity-markets.

IRENA – International Renewable Energy Agency. (2024). **Renewable energy technologies.** Recuperado de https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Technologies.

Micheletti, D. H. (2023). **A contribuição da energia solar fotovoltaica para o desenvolvimento rural sustentável.** [Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná]. Repositório https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6753/5/Danilo_Micheletti_2023.pdf

Ramanauskas, L. F. da C. (2019). **Avaliação de parâmetros que afetam a produção de energia elétrica em um sistema fotovoltaico em propriedade rural.** [Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8966

Raza, F., Tamoor, M., Miran, S., Arif, W., Kiren, T., Amjad, W., Hussain, M. I., & Lee, G.-H. (2022). The Socio-Economic Impact of Using Photovoltaic (PV) Energy for High-Efficiency Irrigation Systems: A Case Study. *Energies,* 15(3), 1198. https://doi.org/10.3390/en15031198

Santa Catarina. (2019). **Agricultura familiar responde por metade do faturamento da agropecuária em SC.** Recuperado de https://surl.lu/qzczrf

Triola, M. F. (2014). **Introdução à estatística: atualização da tecnologia.** Rio de Janeiro: LTC.

— TRABALHOS COMPLETOS —

SUSTENTABILIDADE DO AGRONEGÓCIO



8º SSS

AGRONEGÓCIO CAFÉ NO BRASIL: GESTÃO DIRECIONADA À SUSTENTABILIDADE

1Flávia Maria de Mello Bliska, 2Antonio Bliska Júnior, 3Patrícia Helena Nogueira Turco, 4Adriano Augusto Bliska

1Instituto Agronômico de Campinas, e-mail: flavia.bliska@sp.gov.br; 2Universidade Estadual de Campinas e-mail: bliskajr@unicmp.br; 3 APTA Regional, e-mail: pturco@sp.gov.br; 4Universidade Estadual de Campinas, e-mail: adrianobliska@gmail.com

Palavras-chave: Cafeicultura; Desenvolvimento rural; Desenvolvimento regional.

Resumo

O cuidado com a adoção de práticas justas orientadas à preservação ambiental, respeito à sociedade e gestão por empresas de diferentes regiões e setores econômicos cresce continuamente. O cuidado em atender à demanda, reduzir custos internos, elevar a produtividade, melhorar a imagem da empresa e aperfeiçoar os processos de produção é progressivamente essencial à competitividade e, sobretudo, à sustentabilidade. Na agricultura, onde o empresário via de regra não influencia preços de insumos e produtos, a situação é similar e particularmente relevante à competitividade e à sustentabilidade setorial, em especial em países onde o agronegócio é relevante economicamente. Este estudo analisa a contribuição da adoção de práticas Ambientais, Sociais e de Gestão corporativa (ESG, em inglês) na cafeicultura brasileira, sobretudo com base nas diretrizes da agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, mas também em relação à Responsabilidade Socioambiental Corporativa (RSC). Para isso utiliza-se o Método de Identificação do Grau de Gestão – MIGG para Café. O MIGG identifica o nível de gestão de uma empresa, pode contribuir à tomada de decisões estruturadas, com foco na sustentabilidade e competitividade rural e regional. Esse método é aplicado por meio de questionário que engloba oito processos gerenciais – critérios de gestão, que avaliam 64 indicadores. Cada um dos critérios proporciona à avaliação do respondente uma soma que varia de zero a 1000 pontos. Essa pontuação classifica o grau de gestão em níveis de um a nove, sendo um o mais baixo e nove o mais elevado. Nesse estudo são avaliados indicadores de gestão do MIGG-Café que examinam a contribuição da organização para o desenvolvimento econômico, social e ambiental sustentável, avaliam se são proporcionadas condições para o desenvolvimento e utilização plena do da força de trabalho, levando em conta a Segurança e Saúde do Trabalho (SST), e apuram se as regulamentações ambientais são respeitadas. O planejamento amostral baseou-se no número de propriedades cafeeiras no Brasil e seus estados. Foram avaliadas 1182 nas diferentes regiões produtoras brasileiras. A questão da ética na atividade cafeeira e a oferta de planos de saúde aos colaboradores apresentam resultados extremamente baixos em todos os graus de gestão e categorias de tamanho dos imóveis rurais, nos seis principais estados brasileiros produtores de café. Verificou-se que as práticas de gestão associadas às ESG, ODSs e RSC apresentam resultado mais homogêneos quanto maior é o grau de gestão. Quanto ao tamanho das empresas cafeeiras, os maiores percentuais de adoção de indicadores associados àquelas condutas ocorrem nas grandes propriedades e nos minifúndios os menores.

Introdução

A cafeicultura teve papel histórico eminente na economia brasileira. Sua importância relativa se reduziu de forma significativa nas últimas décadas, em razão, por exemplo, da imensa diversificação econômica no período 1959-2009, em relação à economia brasileira e em relação ao restante do setor agropecuário (Moretto et al., 2015). Nesse período, foram efetivadas políticas púbicas com resultados expressivos, como o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) e o crescimento excepcional das cadeias de frangos e suínos, além de englobar o período conhecido por milagre brasileiro, quando o Produto Interno Bruto (PIB) se expandiu de forma significativa. Apesar dessa redução, a produção agrícola e a indústria do café ainda são muito relevantes para as economias estaduais, bem como para a economia nacional como um todo (Sakon et al, 2012; Bliska et al, 2011).

A safra de café (arábica e robusta) em 2024 é estimada em 54,79 milhões de sacas beneficiadas, ocupando área de 2,25 milhões de hectares e produtividade média nacional de 28,8 scs/ha (CONAB, 2024).

Em razão da dimensão significativa da cafeicultura em relação à agricultura brasileira, este estudo analisa a contribuição da adoção de práticas ESG, relacionadas particularmente aos ODS das Nações Unidas (United Nations, 2016) nas empresas rurais cafeeiras, visando identificar possíveis ações corretivas que incrementem a sustentabilidade e competitividade do segmento cafeeiro como um todo.

Fundamentação Teórica

O cuidado com a adoção de práticas justas orientadas à preservação ambiental, respeito à sociedade (Garcia, Silva, Orsato, 2017) somada à necessidade de encontrar, formar e reter bons colaboradores, a gestão empresarial das atividades agrícolas nas diferentes regiões e cadeias produtivas cresce continuamente. O cuidado em atender à demanda, reduzir custos internos, ganhar eficiência, elevar a produtividade, melhorar a imagem da empresa e aperfeiçoar os processos de produção é progressivamente essencial à competitividade e, sobretudo, à sustentabilidade. Em um cenário de falta de recursos humanos capacitados e

qualificados, de baixa instrução e baixa performance, em praticamente todos os níveis. Na agricultura, onde o empresário via de regra não influencia preços de insumos e produtos, a situação é similar e particularmente relevante à competitividade e à sustentabilidade setorial, em especial em países onde o agronegócio é relevante economicamente (Panferova, 2020).

Portanto, os mecanismos de gerenciamento interno sobre os quais os gestores têm controle se tornam particularmente relevantes (Bliska Júnior e Bliska, 2022). Destacam-se a atenção especial ao uso racional de recursos naturais e a preservação da biodiversidade, da fertilidade do solo e das fontes de água, bem como a preocupação com a segurança alimentar, segurança e saúde do trabalhador, igualdade de gênero, formação e treinamento dos colaboradores, regulamentações (trabalhistas, fiscais e ambientais) e reputação, atendendo às diretrizes da agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ODS (UN, 2015), aos conceitos de práticas Ambientais, Sociais e de Gestão corporativa, ESG, em inglês (UN, 2005) e de Responsabilidade Socioambiental Corporativa, RSC (Mcwilliams e Siegel, 2001; Carroll, 1999). Consequentemente, a gestão das empresas rurais é imprescindível à competitividade e à sustentabilidade das cadeias agrícola, particularmente no Brasil, onde a importância econômica do agronegócio é expressiva.

Metodologia

Este estudo analisa a contribuição da adoção de práticas Ambientais, Sociais e de Governança nas empresas rurais cafeeiras, por meio do Método de Identificação do Grau de Gestão para Café - MIGG-Café (BLISKA JÚNIOR e BLISKA, 2022; FALEIROS et al., 2020; BLISKA, 2018), que identifica o nível de gestão de uma empresa e pode contribuir para a tomada de decisões de forma organizada e para a obtenção de produtos de melhor qualidade, visando atender às preocupações atuais dos consumidores, como o aumento da produção sustentável (FALEIROS et al., 2020). O MIGG é aplicado por meio de questionário impresso ou eletrônico, que engloba oito processos gerenciais – critérios de gestão (Quadro 1), que avaliam 64 indicadores. O planejamento amostral baseou-se em Bolfarine, Bussab e Morettin (2005), considerando-se o no número de propriedades cafeeiras no Brasil e seus estados, segundo o IBGE (2006), referência procedente, pois o café é cultura perene. Foram avaliadas 1182 nas principais regiões cafeeiras Brasil. As empresas cafeeiras foram classificadas por tamanho, de acordo com o número de módulos rurais das propriedades, em minifúndio, pequena propriedade, média propriedade e grande propriedade (INCRA, 2020); essa classificação leva em conta informação que os empresários rurais em geral não consideram demasiadamente confidencial.

Quadro 1 - Critérios de gestão do MIGG-Café e respectivas pontuações máximas

Critério de gestão	Pontuação máxima
Estratégias e Planos: plano de negócios; documentação; plano de ação e periodicidade; e índice de ajuste de produção.	60
Liderança: relacionamento e comunicação com funcionários, fornecedores, consumidores; e domínio dos fatores que afetam a organização.	50
Clientes: preços de venda; classificação de grãos e bebida; serviço de atendimento ao cliente (SAC); e cumprimento de prazos e especificações.	90
Sociedade: controle biológico; tratamento de resíduos; mão de obra infantil; associativismo e cooperativismo; royalties; e código de conduta.	60
Informações e conhecimento: suporte técnico, internet, treinamento, contatos, distribuição, tecnologias, metodologias e processos.	90
Pessoas: equipamento de proteção individual (E.P.I.); plano de saúde; treinamento, liderança, estímulos e iniciativa.	60
Processos: material genético; variedades, substratos; produção de sementes e mudas; nutrição; parâmetros, logística e instalações de colheita, pós-colheita e armazenamento; manutenção preventiva; limpeza e organização; retrabalho; controle de qualidade; crédito e seguro agrícola.	190
Resultados: vendas; receita; satisfação e relacionamento (clientes e mercado); imagem da empresa; conformidade ambiental; bem-estar dos colaboradores; produtividade; conformidade e qualidade dos produtos; eficiência operacional; relacionamento com fornecedores.	400
Pontuação total	1000

Fonte: Bliska (2018), p. 94

Cada um dos critérios proporciona à avaliação do respondente uma soma que varia de zero a 1000 pontos. Essa pontuação classifica o grau de gestão em níveis de um a nove, sendo um o mais baixo e nove o mais elevado (BLISKA, 2018) (Quadro 2).

Este estudo avalia primeiramente os seis indicadores de gestão do MIGG-Café que compõem o critério Sociedade, que examina como a organização contribui para o desenvolvimento econômico, social e ambiental de forma sustentável, Quadro 3.

A seguir são avaliados os indicadores de gestão que compõem o critério Pessoas, que examina como são proporcionadas as condições para o desenvolvimento e utilização plena do potencial das pessoas que compõem a força de trabalho, em consonância com as estratégias organizacionais, incluindo a capacitação e o desenvolvimento, bem como os esforços para criar

e manter um ambiente de trabalho e um clima organizacional que conduzam à excelência do desempenho, à plena participação e ao crescimento das pessoas, sempre levando em conta a Segurança e Saúde do Trabalho (SST), Quadro 4.

Por fim, quanto ao critério Resultados, que em seu todo examina como a organização avalia e analisa o desempenho dos processos de produção, econômico-financeiros, clientes e mercado, pessoas, sociedade e fornecedores, esse estudo avalia em especial as a percepção positiva da organização por uma administração comercial, ética, de valor e confiável perante clientes, fornecedores e colaboradores, regulamentações ambientais e bem-estar, satisfação e motivação dos colaboradores, Quadro 5.

Os critérios avaliados neste estudo se relacionam sobretudo aos seguintes ODSs: 1. Erradicação da pobreza; 2. Fome zero e agricultura sustentável; 3. Saúde e bem-estar; 5. Igualdade de gênero; 6. Água potável e saneamento; 8. Trabalho descente e crescimento econômico; 12. Consumo e produção responsáveis; 13. Ação contra a mudança global do clima; 14. Vida na água; 15. Vida terrestre; e 17. Parcerias e meios de implementação.

Em relação às ESGs e à RSC destacam-se consideração e cuidado com os colaboradores, reputação e ética empresarial.

Quadro 2 - Classificação do grau de maturidade das empresas proposta pelo MIGG-Café

Classificação	Descrição da maturidade de gestão da organização	Pontuação
9	Enfoques altamente proativos, inovadores, de uso continuado, aprendizado permanente e plenamente integrado. Tendências favoráveis em todos os resultados. Organização é "referencial de excelência" na maioria das áreas, processos ou produtos.	851 - 1000
8	Enfoques refinados, alguns inovadores, com uso bem disseminado. A organização é referencial de excelência em muitas áreas, processos ou produtos.	751 - 850
7	A organização é referencial de excelência em algumas áreas, processos ou produtos.	651 - 750
6	A organização é considerada uma das líderes do ramo.	551 - 650
5	Há lacunas no inter-relacionamento das práticas de gestão. Tendência favorável na maioria dos resultados.	451 - 550
4	Práticas de gestão coerentes com a maioria das estratégias da organização. Há lacunas significativas.	341 - 450
3	Enfoques adequados a alguns critérios. Há resultados positivos, mas há incoerências entre as práticas da gestão e as estratégias.	251 - 350
2	Primeiros estágios de desenvolvimento das práticas de gestão. Há lacunas significativas a serem superadas entre as práticas da gestão e as estratégias.	151 – 250
1	Estágios preliminares do desenvolvimento da gestão.	0 - 150

Fonte: Bliska (2018), p. 95

Quadro 3 - Critério Sociedade, Indicadores de gestão, MIGG-Café

Indicador de gestão	Pontuação máxima
A organização procura utilizar controle biológico e/ou realizar o uso racional de agroquímicos em seus processos produtivos?	10
A organização descarta adequadamente a água, resíduos do processo de beneficiamento e embalagens vazias de agroquímicos?	10
A organização sempre contrata funcionários com idade igual ou superior àquela estabelecida na legislação?	10
A organização integra ao menos uma cooperativa ou associação em seu ramo de atividade?	10
A organização recolhe regularmente taxas e impostos, inclusive encargos sociais, cumprindo com legislação tributária e trabalhista	10
A organização possui mecanismos para assegurar a ética nos relacionamentos interno e externo (Código de conduta abrangendo colaboradores, clientes, fornecedores e sociedade) e estimular sua aplicação em toda a cadeia?	10
Pontuação total do critério	60

Fonte: Adaptado de Bliska (2018), p. 96-97

Quadro 4 - Critério Pessoas, Indicadores de gestão, MIGG-Café

Indicador de gestão	Pontuação máxima
Uso regular e correto de EPI	10
Plano de saúde aos colaboradores	10
Formação e treinamento de colaboradores	10
Liderança entre colaboradores	10
Desempenho de colaboradores	10
Remuneração de colaboradores	10
Pontuação total do critério	60

Fonte: Adaptado de Bliska (2018), p. 96-97

Quadro 5 - Critério Resultados, Indicador de gestão referente às regulamentações ambientais, MIGG-Café

Indicador de gestão	Pontuação máxima
Existe uma avaliação positiva da organização por uma administração comercial, ética, percebida como uma empresa de valor e confiável perante seus clientes, fornecedores e colaboradores?	20
A organização trabalha para atender às regulamentações ambientais (retorno de embalagens de agroquímicos, outorga de água, recuperação de mata ciliar, por exemplo), considerando Código Florestal, Resíduos Sólidos e outras normas e os compromissos ambientais assumidos?	20
A organização avalia regularmente o bem-estar, a satisfação e motivação de seus colaboradores?	30
Pontuação total do critério	400

Fonte: Adaptado de Bliska (2018), p. 96-97

Resultados

Na Figura 1 observa-se que os menores percentuais de adoção de práticas de gestão e desenvolvimento sustentável estão associados à oferta de plano de saúde aos colaboradores, à adoção de mecanismos para assegurar a ética nos relacionamentos com colaboradores, clientes, fornecedores e a sociedade, seguidos da atuação em entidades de classe, tais como associações, sindicatos e cooperativas. Na Bahia são observados os menores percentuais de adoção de cinco indicadores do critério Sociedade (uso correto de agroquímicos, descarte correto de água e resíduos, idade mínima de contratação de colaboradores, participação em entidades de classe e formas de garantir a ética), resultado reafirmado pelo menor percentual de atenção às normas ambientais, no critério Resultados.

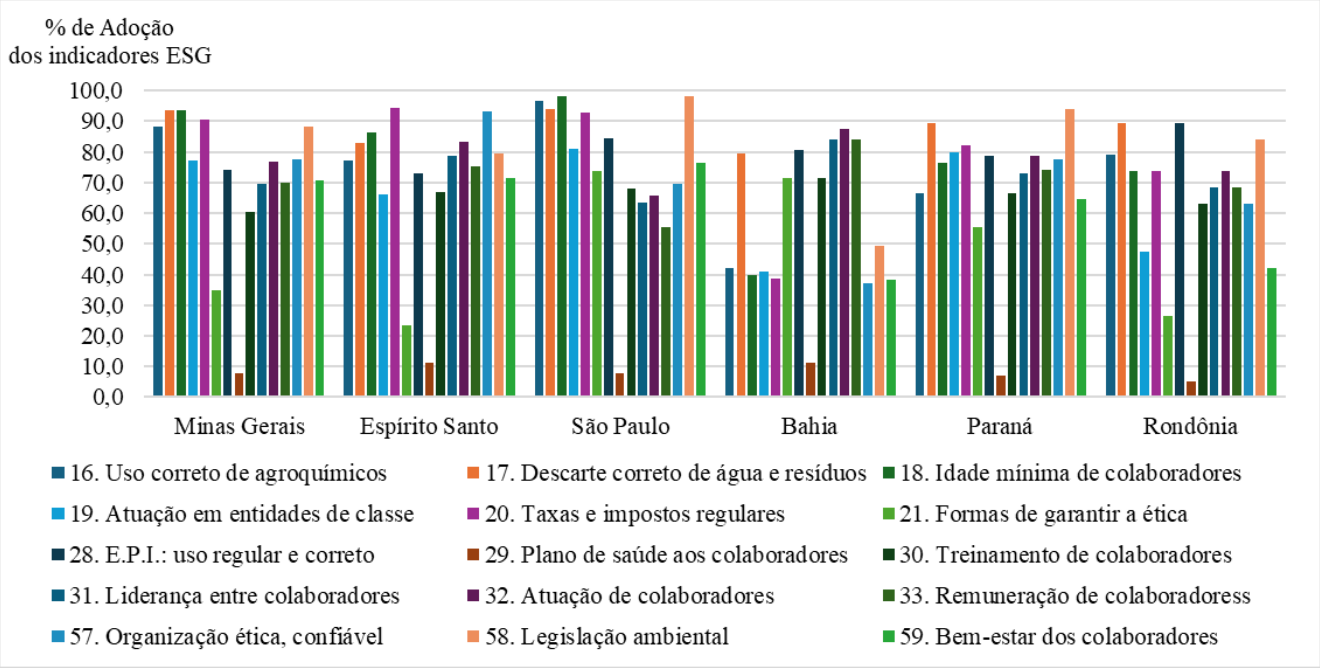


Figura 1: Percentual de adoção dos indicadores de ESG nas empresas cafeeiras brasileiras, principais estados cafeeiros
Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 2 observam-se práticas de gestão mais homogêneas quanto maior é o Grau de gestão (Nível 9) das empresas rurais e tendência de queda na adoção daqueles indicadores quanto menor o Grau de gestão. A queda é acentuada quanto ao uso racional de agroquímicos, participação em organizações de classe e formas de assegurar a ética e, sobretudo, nos indicadores relacionados aos colaboradores (Critério Pessoas), em especial oferta de plano de saúde, em todos os níveis de gestão.

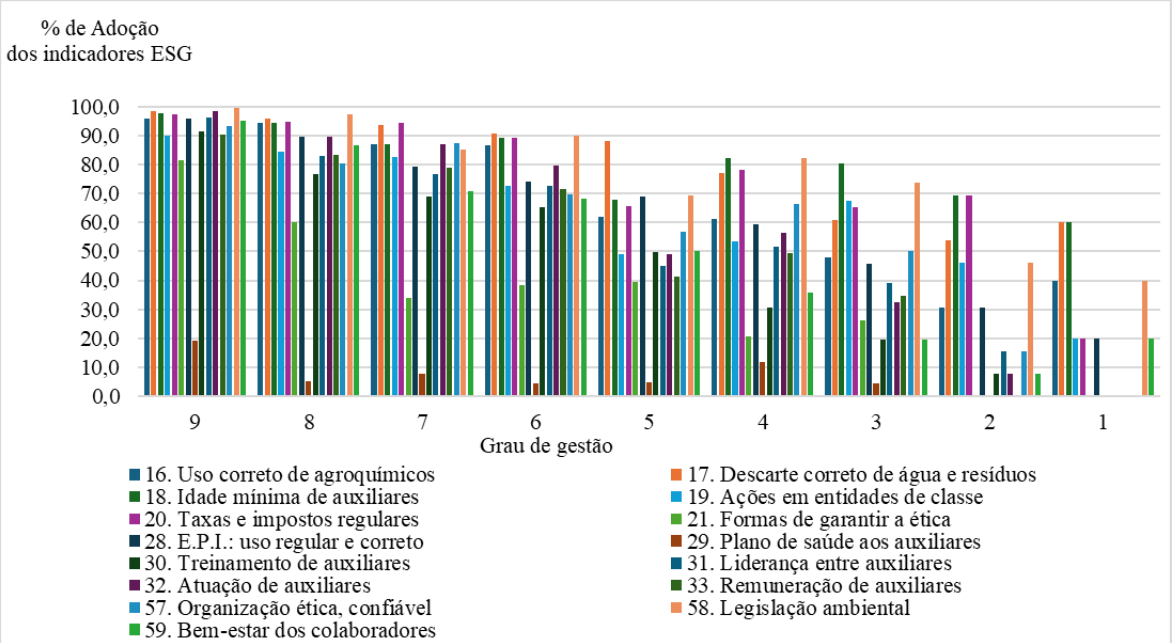


Figura 2: Percentual de adoção dos indicadores de ESG nas empresas cafeeiras brasileiras, por nível de gestão
Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 3 observam-se nas grandes propriedades cafeeiras os maiores percentuais de adoção de indicadores de gestão e desenvolvimento sustentável. E nos minifúndios observam-se os menores níveis de adoção.

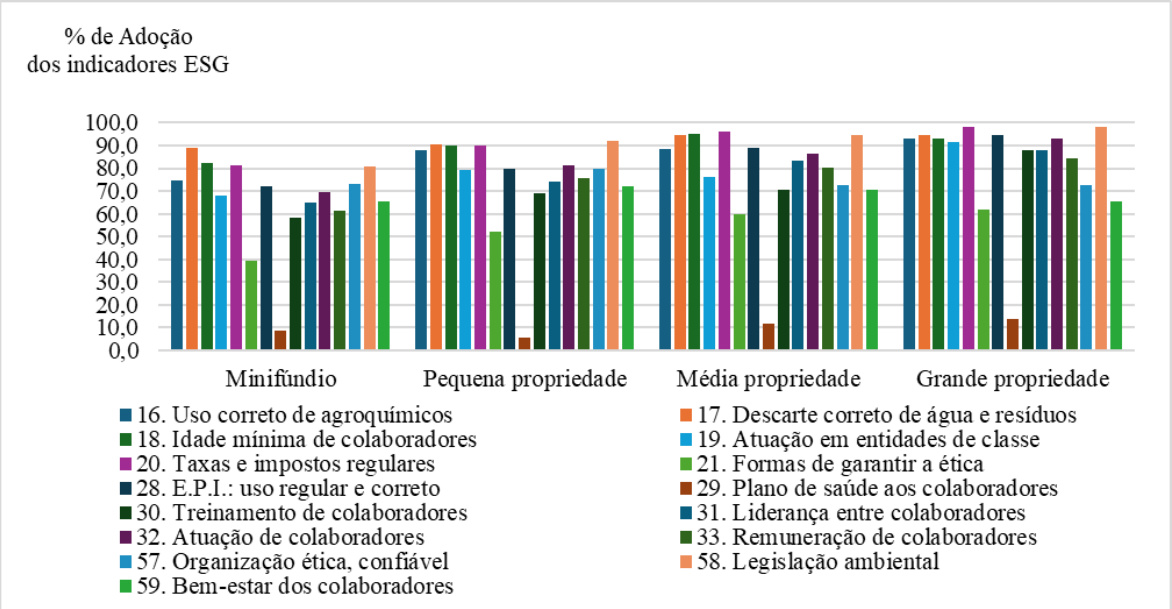


Figura 3: Percentual de adoção dos indicadores de ESG nas empresas cafeeiras brasileiras, por tamanho da empresa
Fonte: Elaborado pelos autores

Conclusão

A questão da ética na atividade cafeeira apresenta resultados extremamente baixos em todos os Graus de gestão, bem como nas diferentes categorias de imóveis rurais: minifúndio, pequena, média e grande propriedade. Portanto, observa-se um quadro preocupante quanto a esse aspecto da governança, que permeia as relações da atividade econômica. O aprofundamento de estudos neste quesito é necessário para melhor entendimento do porquê desses baixos valores. Se essa questão ocorre com o primeiro elo da cadeia agroindustrial do café, surge uma questão importante: observam-se comportamentos similares em toda a cadeia?

A baixa participação das empresas em cooperativas, associações, sindicatos e outras instituições coletivas, pode indicar desconhecimento dos empresários ruais quanto aos serviços por elas disponibilizados. Assim, é importante um maior empenho daquelas instituições em investigar os motivos pelos quais as empresas não utilizam regularmente seus serviços, bem como em avaliar seus quadros técnicos e monitorar de forma mais detalhada seus canais de comunicação com seus potenciais usuários.

Embora nas grandes propriedades sejam observados os maiores percentuais de adoção dos indicadores associados às práticas ambientais, sociais e de governança, bem como nas pequenas e médias propriedades aqueles percentuais também alcancem valores significativos, ainda há espaço para incremento dos índices de gestão e, na sequência, trabalhar na implementação de uma filosofia de melhoria contínua em todas as categorias de tamanho.

Os indicadores analisados neste trabalho e vinculados com as ODs citadas mostram um quadro pormenorizado das relações diretas de causas e consequências na gestão das propriedades rurais, em todas as faixas de tamanho. Mas na verdade, todos os indicadores do MIGG, mesmo aqueles aqui não apresentados em detalhes, contribuem direta ou indiretamente, para atingir maior competitividade e sustentabilidade da atividade cafeeira.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (FUNDAG) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

BLISKA, A. A.; 2018. Indicadores de gestão dos arranjos produtivos cafeeiros no Brasil: uma análise de correspondência múltipla. 115 p. Dissertação, Campinas: UNICAMP.

BLISKA JÚNIOR, A.; BLISKA, F. M. D. M.; 2022. Transforming the farmer into a rural entrepreneur as a path to sustainability. **Agronomy**, 12, 898. https://doi.org/10.3390/ agronomy12040898

BLISKA, F. M. M. et al.; 2011. Employment generation in Brazilian coffee regions. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 58, n. 2, p. 23-39, jul./dez.

BOLFARINE, H; BUSSAB, W.; MORETTIN, P. A.; 2005. **Elementos de Amostragem**. 1ª edição. São Paulo: Blucher. 1ª edição, 290 p.

CARROLL, A. B.; 1999. Corporate social responsibility: Evolution of a definitional construct. **Business & Society**, 38(3), 268-295.

CONAB; 2024 Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v.11, n.3.

FALEIROS, G. D. et al.; 2020. A importância da gestão na competitividade dos cafezais da Alta Mogiana paulista. **Científica**, Dracena, SP, v. 48, n. 1, p. 1–16. Disponível em: http://cientifica.org.br/index.php/ cientifica/article/view/1293. Acesso em: 17 abr. 2023.

GARCIA, A. S.; SILVA, W. M.; Orsato, R.J.; 2017. Sensitive industries produce better ESG performance: Evidence from emerging markets. J. Clean. Prod. 135–147. Available online: https://pesquisa-eaesp.fgv.br/sites/gvpesquisa.fgv.br/files/arquivos/1. _orsato_sensitive_i_-_1-s2.0-s0959652617304067-main.pdf. Acesso em: 17 abr. 2023 (accessed on 9 February 2022). [CrossRef]

IBGE, 2006. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censoagropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao. Acesso em: 05 de mai. 2021. _____.

INCRA, 2020. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Módulo Fiscal. Brasília**: INCRA. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br. Acesso em:05 de mai. de 2021.

MORETTO, A. C. et al; 2015. Trajetória tecnológica e evolução do segmento cafeeiro na economia brasileira. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 62, n. 1, p. 5-23, jan.-jun.

NAÇÕES UNIDAS; 2015. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Nações Unidas. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs Acesso em: 04 de mai. de 2025.

UN Global Compact; 2005. **Who cares wins 2005 conference report: investing for long-term value**, 25 p. » https://pt.scribd.com/fullscreen/16876744?access_key=key-mfg3d0usaiuaob4taki Acesso em: 04 de mai. 2025.

UN Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development; **The 17 Goals** THE 17 GOALS | Sustainable Development Acesso em: 04 de mai. 2025.

PANFEROVA, L.; 2020. The importance of internal control for agricultural organizations and ways to improve it. **DAIC 2020**. In E3S Web of Conferences; EDP Sciences: Ulis, France; Volume 222, p. 06025. [CrossRef]

SAKON, F. M. et al.; 2012. A Produção e Industrialização do Café no Brasil e a Economia Nacional: Simulações sob um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 3, p. 443-462, jul. – set.

ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE ENTRE HORTALIÇAS DO CULTIVO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

1Socorro Dias Morais, 2Francisco Rodrigo de Lemos Caldas.
1Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, e-mail: redias1301@gmail.com; 2Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, e-mail: rodrigo.lemos@ifce.edu.br;

Palavras-chave: Hortaliças; Potencial antioxidante; Química.

Resumo

Mesmo com todos os benefícios para a saúde, o consumo de hortaliças no Brasil permanece com índices muito abaixo dos valores diários recomendado por instituições internacionais como a Organização Mundial da Saúde. O objetivo desta pesquisa experimental foi comparar o potencial antioxidante das hortaliças Eruca sativa L. e Brassica oleracea L. em dois modos de cultivo, orgânico e convencional. A metodologia foi baseada na pesquisa descritiva com acompanhamento da pesquisa laboratorial, avaliando o resultado de uma série de procedimentos padronizados. Os resultados exibiram uma diferença significativa do potencial antioxidante entre os sistemas de cultivos orgânico e convencional, dos extratos obtidos tanto da Eruca Sativa L. quanto da Brassica oleracea L. Para avançar nesse estudo sugere-se a caracterização química dos extratos obtidos bem como a avaliação biológica como atividade anti-inflamatória e atividade antimicrobiana para prospecção de compostos bioativos de interesse para a indústria.

Introdução

Apesar dos benefícios para a saúde, o consumo de hortaliças no Brasil permanece com índices muito abaixo dos valores diários recomendado por instituições internacionais como a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2004), que aconselha um consumo diário de 400 gramas de frutas e hortaliças, em cinco ou mais dias da semana. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO), o consumo de hortaliças é de apenas 141 gramas por pessoa/dia no Brasil, ressaltando que com esses valores o nosso país fica atrás de alguns países mais pobres tanto da Ásia quanto da América Latina (FAO, 2014).

Em várias regiões do Brasil e de outros países, estudos têm sido realizados com o objetivo de comparar a composição química, a qualidade nutricional e a segurança alimentar de hortaliças de diferentes tipos de sistemas de produção. (FERREIRA, 2004, BEZERRA et al., 2006, ARBOS, 2009).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO/ONU) hortaliças são plantas anuais, bianuais ou perenes cultivadas em hortas ou em campo aberto ou sob cultivo protegido e que são utilizadas quase exclusivamente como alimento incluindo nesse grupo, plantas classificadas como cereais ou da família das leguminosas (grãos e/ou vagens), cujos produtos são colhidos verdes (tenros ou imaturos) também se inclui nesse grupo os melões e melancias por seu comportamento hortícola no cultivo e por serem culturas temporais como as demais hortaliças. Os produtores de hortaliças vêm a cada ano modificando seus sistemas de produção, na forma de incremento de tecnologias, buscando o aumento de produtividade e qualidade das culturas produzidas, satisfazendo assim a demanda o mercado consumidor (NASCIMENTO, 2020).

Segundo Melo et al., 2018 os antioxidantes são formados a partir de vitaminas, minerais, pigmentos naturais e outros compostos vegetais, incluindo compostos fenólicos, combatem os efeitos nocivos dos radicais livres. A estrutura química e a concentração de alimentos determinam a proficuidade da ação antioxidante, fatores como as condições ambientais e fatores genéticos das plantas atuam no teor de antioxidantes nas espécies.

Os fertilizantes orgânicos são frequentemente utilizados para o cultivo de hortaliças, sendo o esterco bovino um dos fertilizantes orgânicos mais utilizados, agregando uma melhoria nas características do solo (PADILHA JÚNIOR et al., 2020). De acordo com Mantovani et al. (2017) a adubação orgânica utilizando o esterco bovino produz efeitos positivos tanto na produção quanto no crescimento das hortaliças.Com a ausência de resíduos de agrotóxicos o cultivo orgânico favorece os ciclos biológicos e contribui para uma boa fertilização do solo, seu processo é baseado no equilíbrio ecológico, resultando em uma ótima qualidade na produção dos alimentos.

Para esse estudo foi escolhido duas espécies, devido a sua importância nutricional, a Eruca sativa L. que tem por nome popular rúcula ou pinchão é uma hortaliça da região sudeste do país, originária da região mediterrânea, e a Brassica oleracea L. var. acephala, da família Brassicaceae (Antiga Cruciferae), a Couve como conhecida popularmente (ABCSEM, 2020).

Neste estudo compara-se as características do potencial antioxidante das espécies Eruca sativa L. (rúcula) e Brassica oleracea L. (couve), na cultura orgânica e na cultura convencional, com o objetivo de prospectar novos produtos para a indústria farmacêutica e de alimentos, contribuindo na Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação e para o desenvolvimento econômico.

Metodologia

Material e métodos

A metodologia do trabalho é baseada na pesquisa descritiva com acompanhamento da pesquisa laboratorial, avaliando o resultado de uma série de procedimentos padronizados.

Local de coleta

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizada a identificação de produtores da região Cariri Cearense que realizam o cultivo das hortaliças em diferentes sistemas de produção. As amostras orgânicas adquiridas na feira do Bairro Pirajá de produtos orgânicos, das quais o produtor se encontra de acordo com os requisitos da legislação orgânica brasileira, a Lei nº 10.831, que regrou a produção e comercialização dos produtos orgânicos no Brasil. Já as amostras resultantes do sistema de produção convencional foram adquiridas no mercado Senhora Santana, em estádio de maturação comercial, ambas localizadas na cidade de Juazeiro do Norte (Ceará).

Preparação dos extratos e amostras

O extrato das folhas das amostras provenientes do sistema de produção orgânico e convencional foi obtido utilizando álcool etílico P.A. (95%). Para a preparação do extrato, utilizou-se 50 g das folhas da hortaliça previamente trituradas e 50 mL do solvente. A mistura foi macerada e filtrada a vácuo, em seguida colocada em aquecedor até que todo o solvente evaporasse.

Fenóis Totais

Para determinação do teor de compostos fenólicos totais do extrato das amostras, foi utilizado o reagente de Folin-Ciocalteau conforme método de Slinkard e Singleton (1977), com modificações, usando o ácido gálico como composto fenólico padrão, nas concentrações de 5; 10; 15; e 20 µg/mL, para construir uma curva de calibração. Foram preparadas soluções em etanol (1,0 mg/mL e 5,0 mg/mL) do extrato da amostra. Em eppendorfs de 1,5 mL, adicionado 100 µL de volume de solução do extrato da amostra (Concentração final da amostra 100,0 µg/mL), 820 µL de água destilada e 20 µL do reagente de Folin – Ciocalteu e agitados durante 1 min. Em seguida adicionou-se 60 µL de uma solução de carbonato de sódio a 15 %. Após a adição do carbonato de sódio, os tubos foram agitados por 30 segundos, permanecendo, em seguida, a mistura em repouso por 2 horas, protegida da luz. Terminado o período de reação, realizou – se a transferência de 200 µL da mistura para placa de 96 poços e a absorbância medida a 760 nm. Todas as determinações realizadas em triplicata. Os resultados expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g da amostra.

Potencial antioxidante pelo método do DPPH

O potencial antioxidante dos extratos, foram determinados pelo método fotocolorimétrico in vitro por sequestro do radical livre estável DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila). O método está baseado na capacidade do DPPH em reagir com doadores de hidrogênio (ALMARAZ-ABARCA et al., 2007, RUFINO et al., 2007). Em eppendorfs de 1,5 mL adicionou-se 450 µL da solução de DPPH em 50 µL de soluções do extrato nas concentrações de 5; 1; 0,5 e 0,1 µg/mL. A mistura fica sob agitação em aparelho ultrassônico durante 30 minutos, protegida da luz. Em seguida a absorbância foi detectada em espectrofotômetro a 517 nm.

Todas as determinações realizadas em triplicata. A solução de DPPH possui uma coloração roxa intensa, o potencial antioxidante de uma amostra pode ser visualizado pelo progressivo descoloramento da solução de DPPH, após o tempo de reação ao abrigo da luz. Como branco utilizou - se álcool etílico P.A. (95%). Como controle negativo utilizou-se a mistura de 450 µL da solução de DPPH com 50 µL de álcool etílico e como controle positivo utilizou - se o BHT nas concentrações de 1; 2; 3 e 4 µg/mL (50 µL) com 450 µL da solução de DPPH. A amostra do presente estudo tem sua CE50 determinada, ou seja, a concentração do antioxidante necessária para reduzir em 50 % o radical DPPH inicial da reação. Os resultados da CE50, definida como Concentração Efetiva, expressos em µg/mL. A CE50 representa uma das maneiras muito utilizada para expressar o potencial antioxidante de uma amostra usando o método do DPPH.

Potencial antioxidante pelo método do ABTS

O ensaio de descoloração do ABTS realizado de acordo com a metodologia de Silva et al. (2006). O radical ABTS preparado adicionando 5 mL da solução de ABTS 7 mmol L-1 com 88 µL da solução de perssulfato de potássio 140 mmol L-1, reagindo durante 14 horas ao abrigo da luz. Para o ensaio, 1 mL da solução do radical ABTS diluída em EtOH até obter uma absorbância ± 0,7 a 734 nm. Foram preparadas soluções das amostras na concentração de 5,0 g mL-1. Quantidades apropriadas misturadas com a solução de ABTS. Como controle positivo utilizado o trolox. Após 6 minutos de agitação em aparelho de ultrassom ao abrigo da luz a quantidade de radicais de ABTS é registrada em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 734 nm.

Resultados e Discussão

Os compostos fenólicos compõem uma ampla classe de substâncias biologicamente ativas decorrentes de metabolismo secundário das plantas, onde tem por estrutura básica um anel aromático ou mais substituinte hidroxila no qual os flavonóides e os ácidos fenólicos se destacam. Na natureza podem ser encontrados em abundância, sendo assim considerados como o maior grupo natural no que diz respeito a antioxidante (SCHAFRANSKI, 2019).

A Tabela 1 demonstra o teor de compostos fenólicos e atividade sequestradora de radicais livres da Eruca Sativa L. e Brassica oleracea L. sob duas condições de produção. De acordo com os resultados uma diferença significativa foi observada entre os sistemas de cultivos estudados, tanto a Eruca Sativa L. quanto a Brassica oleracea L., ambas do cultivo orgânico, apresentou um maior teor de compostos fenólicos (218,88 ± 2,84mg e171,20 ± 1,994EAG.100 g-1).

Tabela 1. Compostos fenólicos totais

Amostras	Compostos fenólicos
Eruca Sativa L. Convencional	81,84± 3,57[a]
Eruca Sativa L. Orgânica	171,20 ± 1,994b
Brassica oleracea L. Convencional	100,38 ± 2,00c
Brassica oleracea L. Orgânica	218,88 ± 2,84d

Dados são médias (n=3) ± desvio-padrão. Letras diferentes na mesma coluna significa que diferem entre si pelo teste t (P < 0,05). Compostos fenólicos totais expressos em mg do equivalente ácido gálico g-1 amostra fresca

Fonte: Elaborado pela autora

Estudos realizados por El-Nakat et al., 2018 e Sousa et al., 2022 encontraram compostos fenólicos em hortaliças. Na Eruca sativa foram identificados antocianinas, flavonóides, ácido cafeico, ácido clorogênico e glucosinolatos. Quanto as antocianinas foram encontrados cianidina-3-sambubiosídeo, cianidina-3-glucosídeo e pelargonidina-3-glucosídeo, enquanto os flavonóides incluem quercetina, kaempferol e isorhamnetina.

A Brassica oleracea, é uma das espécies mais comuns da família Brassicaceae, é uma fonte rica de compostos fenólicos, incluindo ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido clorogênico, quercetina, kaempferol e luteolina Figura 1. Além disso, esta espécie contém altas concentrações de glucosinolatos, compostos relacionados aos compostos fenólicos, que possuem atividade anticancerígena potencial (VALAVANIDIS et al., 2009).

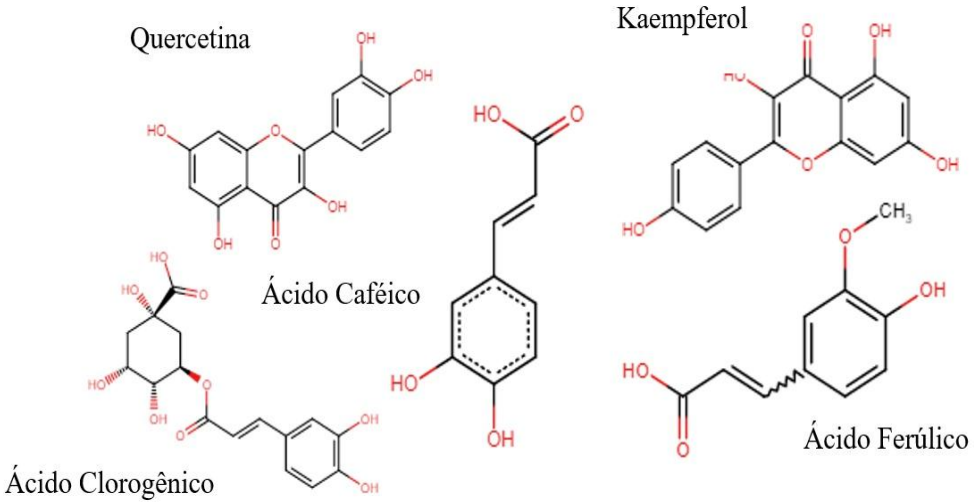


Figura 1 – Estrutura de compostos fenólicos

Tanto o sistema de produção orgânico quanto o sistema de produção convencional podem afetar o potencial antioxidante dos alimentos produzidos, mas os efeitos específicos variam dependendo de vários fatores. Em geral, os alimentos cultivados organicamente tendem a ter níveis mais altos de compostos antioxidantes, como polifenóis, flavonóides e vitamina C, em comparação com os alimentos cultivados convencionalmente. Isso pode ser devido ao fato de que os métodos de cultivo orgânico geralmente enfatizam o uso de técnicas de manejo do solo que promovem a saúde do solo e aumentam a biodiversidade, o que pode resultar em um maior teor de nutrientes no solo e, portanto, em plantas mais saudáveis,(BRANDT, 2011).

Por outro lado, o sistema de produção convencional pode usar pesticidas e fertilizantes químicos que podem reduzir a concentração de antioxidantes nos alimentos produzidos, isso ocorre porque esses produtos químicos podem interferir no processo de fotossíntese da planta e diminuir sua capacidade de produzir compostos antioxidantes (BARANSKI, et al. 2014)

Baranski et al. (2014) em estudo publicado no British Journal of Nutrition, compararam as concentrações de antioxidantes em alimentos cultivados organicamente e convencionalmente e concluíram que os alimentos orgânicos apresentaram níveis significativamente mais elevados de antioxidantes. O estudo também sugere que a agricultura orgânica pode oferecer um método mais eficaz de produzir alimentos com alto teor de antioxidantes do que o sistema de produção convencional.

Após a determinação de compostos fenólicos avaliou-se o potencial antioxidante pelo método do poder sequestrante do radical DPPH e o radical livre ABTS. O método de DPPH é um dos mais utilizado para se determinar a atividade antioxidante em extratos e substâncias isoladas como: compostos fenólicos, fenólicos totais, que são objeto deste estudo. É um método no qual consiste em avaliar a capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila – DPPH, (SOUSA et. al., 2007).

Mesmo se tratando de uma metodologia relativamente simples, o método possui algumas desvantagens, pois em meios aquosos há uma redução na solubilidade podendo assim ter interferências na avaliação da capacidade antioxidante, assim o radical DPPH torna-se pouco acessível para a reação com as amostras antioxidantes, afetando na transferência de elétron ou de hidrogênio, (OLIVEIRA 2015).

O radical ABTS dispõe de uma alta solubilidade em meio aquoso e é um composto considerado quimicamente estável. Este método é superior a outros métodos porque pode ser usado tanto para amostras solúveis em água (hidrossolúveis) e solúveis em gordura (lipossolúveis), (LIMA, 2008).

A Tabela 2 mostra os resultados das amostras convencionais e orgânicas do estudo nos ensaios de ABTS e DPPH apresentando como padrão Butilhidroxitolueno (BHT) como controle positivo do DPPH e o Trolox do ensaio do radical ABTS. Em relação à capacidade de sequestrar o radical livre DPPH, o resultado foi expresso em CE50, uma vez que esse parâmetro indica a concentração da amostra necessária para reduzir em 50% o DPPH. Quanto menor o valor de CE50, maior o potencial antioxidante da hortaliça.

Tabela 2.Potencial Antioxidante Total (AAT), segundo métodos de Captura do Radical Livre - DPPH, Captura do Radical Livre - ABTS

Amostras	ABTS CE50 (ug/mL)	DPPHCE50 (ug/mL)
***Eruca Sativa* Convencional**	339,90 ± 1,18 a	367,40± 1,13f
***Eruca Sativa* Orgânica**	108,20± 2,66 b	56,29± 2,21g
***Brassica oleracea L* Convencional**	405,20±1,02c	235,50±1,50h
Brassica oleracea L Orgânica	62,01±1,04d	64,12 ± 1,00i
Trolox	2,83± 0,02e	
BHT		2,36 ± 0,04j55

Dados são médias (n=3) ± Erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna significa que diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05). CE_{50} é definida como a quantidade de antioxidante necessário para diminuir ou reduzir a concentração inicial do radical em 50%

Fonte: Elaborado pela autora

Os extratos das hortaliças orgânicas analisadas neste foram testados na concentração de 1 µg. mL-1, já os extratos das convencionais foram testadas em concentração de 5µg. mL-1 . Nos resultados obtidos pelo ensaio do DPPH encontramos para a Euruca Sativa L. e a Brassica oleracea L. orgânica, respectivamente,56,29± 2,21 e 64,12 ± 1,00, e para Euruca Sativa L. e a Brassica oleracea L. convencional 367,40 ± 1,13e 235,50 ± 1,50, respectivamente, expressando esse potencial antioxidante como capacidade sequestrante de radicais livres pelo método do DPPH. No ensaio do radical ABTS o sistema de produção orgânico apresentou melhor capacidade sequestrante de radicais livres que o sistema de produção convencional. As espécies Euruca Sativa L. e a Brassica oleracea L. orgânica (108,20± 2,66 e 62,01±1,04) também apresentaram melhor capacidade sequestrante do que as convencionais(339,90 ± 1,18 e 405,20±1,02) corroborando com os resultados do ensaio com DPPH.

Considerações Finais

O estudo realizado propôs-se a comparar o potencial antioxidante de duas hortaliças de uso comum pelos consumidores, oriundos de dois sistemas de cultivos diferentes: cultivo convencional e orgânico. Os resultados obtidos demonstram que as hortaliças de cultivo orgânico tiveram maior compostos fenólicos em sua composição, e consequentemente maior potencial antioxidante nos ensaios realizados, isso pode ser atribuído a fatores bióticos e abióticos que favorecem a maior concentração desses metabólicos secundários. Para avançar nesse estudo teremos como perspectiva futura a caracterização química dos extratos obtidos bem como a avaliação biológica como atividade anti-inflamatória e atividade antimicrobiana para prospecção de compostos bioativos de interesse para a indústria.

Agradecimentos

Edital nº 4/2022 prpi/reitoria-ifce programa institucional de bolsas de iniciação científica – pibic

Referências Bibliográficas

ABCSEM (org.). Manual Técnico para Cultivo de Hortaliças. 4. ed. São Paulo: Abcsem, 2020. 4 v. Disponível em: https://www.abcsem.com.br/publicacoes. Acesso em: 09 abr. 2022.P

ALMARAZ-ABARCA, N. CAMPOS, M. G.; AVILA-REYES, J. A.; NARANJO-XIMENEZ, N.; CORRAL, J. H.; GONZALEZ-VALDEZ, L. S. Antioxidant activity of polyphenolic extract. Journal of Food Composition and Analysis, v. 20, n. 2, p. 119–124, 2007.

ARBOS, K. A. Qualidade sanitária e nutricional de hortícolas orgânicas. 162f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2009.

BEZERRA, N. F, BARROS J. A.P, SILVA, E.O, NEGREIROS M.Z, OLIVEIRA, E.Q. SILVEIRA, L.M, CÂMARA, M.J.T & NUNES GHS (2006) Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional. Horticultura Brasileira, 24:476-480.

BRANDT, K. LEIFERT, C. SANDERSON, R. & CJ Seal (2011) Agroecosystem Management and Nutritional Quality of Plant Foods: The Case of Organic Fruits and Vegetables, Critical Reviews in Plant Sciences, 30:1-2, 177-

197, DOI: 10.1080/07352689.2011.554417

BARANSKI, M., et al. (2014). "Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses." British Journal of Nutrition, 112(5), 794-811. doi: 10.1017/S0007114514001366

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.831.htm. Acesso em: 22 fev. 2019.

EL-NAKAT, H., EL-MALLAH, M., & EL-SHAMY, K. (2018). Phytochemical Analysis biological activity of Eruca sativa plant extracts. Journal of Medicinal Plants Research, 12(4), 42-50.

FAO, Organização das Nações Unidas para a alimentação e a agricultura. O estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil: Um retrato multidimensional. Relatório 2014. Brasília, agosto 2014. 87p.

FERREIRA, S.M. Características de qualidade do tomate de mesa (Lycopersicon esculentum mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na Região Metropolitana de Curitiba. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 249 p., 2004.

LIMA A. Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante in vitro e in vivo, e identificação dos compostos fenólicos presentes no pequi (caryocar brasiliense, camb.).Tese. [Doutorado em Bromatologia] - Universidade de São Paulo; 2008.

MANTOVANI, J. R.; CARRERA, M.; MOREIRA, J. L. A.; MARQUES, D. J.; SILVA, A. B. Fertility properties leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. Revista Caatinga, v. 30, n. 4, p. 825-836, 2017.

MELO, K. Avaliação da atividade antioxidante de hortaliças comercializadas no comércio formal e informal de Teresina-PI. 2018. 17 f. Monografia (Graduação - Curso de Nutrição, Uninovafapi, Teresina, 2018.

NASCIMENTO.W.N. Por que devemos consumir mais hortaliças?: Embrapa Hortaliças. 2020. Disponível em: https:// https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56533086/artigo---por-que-devemos-consumir-mais-hortalicas#:~:text=nas%20diferentes%20popula%C3%A7%C3%B5es.-,Sabe%2Dse%20que%20o%20consumo%20di%C3%A1rio%20de%20hortali%C3%A7as%20%C3%A9%20extremamente,em%20alimentos%20de%20origem%20animal.. Acesso em: 10 fev. 2023.

OLIVEIRA, G. L. S.. (2015). Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH•: estudo de revisão. Revista Brasileira De Plantas Medicinais, 17(Rev. bras. plantas med., 2015 17(1)), 36–44. https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_165

OMS. Organização Mundial de Saúde. Global strategyon diet, physicalactivityandhealth. Geneva: World Health Organization; 2004.

PADILHA JÚNIOR, M. C. P.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. Attributes of thesoilwith cactus pear underorganic fertilization, diferent spacingsandsampling times.. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, n. 7, p. 444-450, 2020.

RUFINO, M. S. M. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Comunicado Técnico online, v. 127, p. 0–3, 2007.

SILVA, T. M. S.; CAMARA, C. A.; LINS, A. C. S.; SANTOS, F. A. R. Chemical composition and free radical scavenging activity of pollenloadsfrom stingless bee Melipona Subnitida Ducke. Journal of Food Composition and Analysis, v. 19, n. 6–7, p. 507–511, 2006.

SOUSA, et al., Fenois totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. Química Nova. 30, 351-355. 2007.

SOUSA, M. R. F; PINHEIRO, A. P; CALDAS, F. R. L; MACHADO, M. I. R; GARCIA, F. F. F; SILVA, J. H. Revisão Integrativa: Compostos Fenólicos em Plantas da Família Apiaceae. Livro Fitoquímica: Potencialidades Biológicas dos Biomas Brasileiros – Volume 2. Publicado em 30 de Ago de 2022, Página 170-184, Cap 11. DOI 10.37885/220709559.

SCHAFRANSKI, K. Extração e caracterização de compostos fenólicos de folhas de amoreira preta (Morus nigra L.) e encapsulamento em esferas de alginato. 100 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SLINKARD, K. & SINGLETON. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture. v.28, p. 49-55. 1977.

VALAVANIDIS, A., VLACHOGIANNI, T., FIOTAKIS, C., & VASSILAKOPOULOS, P. (2009). The contribution of plant food antioxidants to human health. International Journal of Food Science and Nutrition, 60(Suppl 2), 293-302.

SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR: PRÁTICAS E FATORES DETERMINANTES NA ADOÇÃO POR PEQUENOS PRODUTORES

1Roseli Azambuja Barbosa, 2João Augusto Rossi Borges, 3Clandio Favarini Ruviaro, 4Anderson Carlos dos Santos Barbosa

1Universidade Federal da Grande Dourados, e-mail: azambujaroseli@gmail.com; 2 Universidade Federal da Grande Dourados, e-mail: joaoborges@ufgd.edu.br; 3 Universidade Federal da Grande Dourados, e-mail: clandioruviaro@ufgd.edu.br; 4 Universidade Federal da Grande Dourados, e-mail: andersonbarbosa@ufgd.edu.br

Palavras-chave: Gestão do agronegócio; Mudanças climáticas; Conservação ambiental.

Resumo

Nos últimos anos, a preocupação com o meio ambiente ganhou destaque global, impulsionada pela crescente conscientização sobre a necessidade de preservar o planeta e promover mudanças nos estilos de vida. Essas questões são centrais na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável. Este estudo tem como objetivo identificar as práticas agrícolas sustentáveis mais recorrentes na literatura científica e analisar os principais fatores que influenciam sua adoção por pequenos produtores rurais. A pesquisa foi realizada na plataforma Science Direct, reconhecida por sua relevância acadêmica e por disponibilizar artigos revisados por pares. A metodologia adotada combinou revisão sistemática e análise bibliométrica, com foco na literatura publicada entre 2020 e 2024. O portfólio final incluiu 14 estudos internacionais, com destaque para artigos veiculados em periódicos de alto impacto, como o *Journal of Cleaner Production*. Os resultados evidenciam uma ampla variedade de práticas agrícolas sustentáveis e apontam diversos fatores que influenciam sua adoção, como educação, capacitação técnica, acesso a serviços de extensão rural, apoio institucional e características locais. Esses elementos são fundamentais para fortalecer a resiliência climática, promover a segurança alimentar e incentivar a sustentabilidade no setor agrícola. Por fim, os estudos analisados ressaltam a importância da integração entre políticas públicas, incentivos econômicos e suporte técnico como estratégias-chave para atender às demandas locais e enfrentar os desafios globais da agricultura sustentável.

Introdução

As mudanças climáticas têm causado impactos significativos na agricultura e na segurança alimentar em escala global (Maharjan et al., 2022; 2023). Alterações no uso das terras agrícolas são particularmente relevantes, uma vez que a agricultura intensiva contribui para a degradação ambiental e a perda de biodiversidade (Zhang et al., 2022; Moroder et al., 2022). Nesse contexto, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis surge como uma estratégia essencial, com potencial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, reduzir a degradação dos recursos naturais e aumentar a produtividade agrícola (Foguesatto et al., 2019; Maharjan et al., 2022). Além de garantir a produção segura de alimentos, essas práticas promovem o equilíbrio entre produção e conservação da biodiversidade. A implementação de boas práticas agrícolas, que integram produtividade e preservação ambiental, é fundamental para a sustentabilidade do setor (FAO, 2016).

Segundo a FAO (1989), a agricultura sustentável deve se basear em cinco pilares: (1) conservação dos recursos naturais, (2) não degradação ambiental, (3) adequação técnica, (4) viabilidade econômica e (5) aceitabilidade social. Nesse contexto, as relações entre organizações conservacionistas e proprietários rurais são determinantes. Fatores como confiança, objetivos compartilhados, construção de significados e relações de poder são fundamentais para promover a conservação ambiental em propriedades rurais (Rissman et al., 2023). Da mesma forma, os valores e percepções dos agricultores em relação à biodiversidade influenciam diretamente as práticas adotadas (Moroder et al., 2022).

Em diferentes contextos regionais, políticas públicas têm buscado incentivar práticas agrícolas sustentáveis. Na Nigéria, essas políticas focam em educação e capacitação técnica, com ênfase em sistemas de cultivo, gestão hídrica e proteção da biodiversidade (Adesida et al., 2021). Na Tanzânia, medidas como rotação de culturas, uso de esterco animal, lavoura de conservação e sementes geneticamente modificadas são utilizadas para promover a sustentabilidade e a conservação ambiental (Kassie et al., 2013).

Além das políticas, o perfil dos agricultores influencia diretamente a adoção dessas práticas. Aqueles com identidade empreendedora mais desenvolvida tendem a ser mais receptivos à sustentabilidade (Rossi et al., 2023). Nesse sentido, certificações têm desempenhado papel relevante. Na Tanzânia, por exemplo, a certificação de produtos como o café tem incentivado práticas mais responsáveis, contribuindo para alimentos mais saudáveis e ambientalmente adequados (Kangile et al., 2021). Outros fatores também têm potencial para aumentar a produção de alimentos, mitigar os impactos climáticos e conservar recursos naturais. Entre eles, destacam-se a integração entre biotecnologia e agricultura orgânica (Gonzalvo et al., 2020), diversificação e rotação de culturas, além da integração lavoura-pecuária (Celidonio et al., 2019; Zonta et al., 2012). A compreensão dos valores ambientais e das percepções dos agricultores sobre as mudanças climáticas é fundamental para aumentar a adoção de práticas sustentáveis (Foguesatto et al., 2019). Nesse sentido, políticas de incentivo — econômicas, como pagamento por serviços ambientais, e não econômicas, como o apego ao território — podem influenciar positivamente as decisões dos produtores (Foguesatto et al., 2019).

Dentro desse cenário, o agronegócio desempenha papel central como sistema integrado que abrange desde a produção até o consumo de alimentos (Imbiri et al., 2021; Ng e Siebert, 2009). Considerando o protagonismo do Brasil na produção global de alimentos (Foguesatto et al., 2019), é urgente aprofundar estudos que explorem a relação entre conservação ambiental e sustentabilidade rural, especialmente em contextos que impactam diretamente a segurança alimentar mundial.

Diante disso, esta revisão tem como objetivo identificar as práticas agrícolas sustentáveis mais recorrentes na literatura científica e analisar os principais fatores que influenciam sua adoção por pequenos produtores rurais. O artigo está organizado da seguinte forma: a introdução apresenta o contexto e os objetivos do estudo; em seguida, são descritos os procedimentos metodológicos, incluindo os critérios de seleção e o processo de análise das publicações. Posteriormente, são apresentados os resultados e discussões, finalizando com as considerações finais.

Procedimentos metodológicos

Este estudo teve como objetivo analisar qualitativa e quantitativamente a produção científica sobre práticas agrícolas sustentáveis, identificando as mais recorrentes na literatura e os principais fatores que influenciam sua adoção por pequenos produtores rurais. Para isso, foram utilizadas duas abordagens principais: revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. A pesquisa abrangeu artigos publicados entre 2020 e novembro de 2024, disponíveis na base Science Direct. O detalhamento das etapas e especificações da pesquisa são apresentados no Tabela1, a seguir:

Tabela1 - Protocolo da pesquisa

Etapa	Sub-Etapa	Descrição
Revisão Sistemática	1) Escolha das bases de dados pertinentes	Science Direct
	2) Determinação dos descritores	“adoption of sustainable agricultural practices” and smallholders
	3) Realização das buscas usando os descritores	Base de dados escolhidas na etapa 1.
	4) Filtro das buscas por critérios pré-selecionados.	a) Campos da pesquisa: títulos, resumos e palavras-chave; b) Período da pesquisa: 2020 a 2024. c) Tipo de documento: artigo; d) Idiomas da pesquisa: inglês e português; c) Área temática: ciências agrarias e biológicas, ambiental, social, da terra e planetária. d) Acesso: aberto (disponíveis grátis na internet; com PDF para download).
	5) Uso do Mendeley Software Rstudio para compilação dos artigos selecionados	Após a filtragem dos artigos com base nos critérios de seleção evidenciados no passo 4, será realizado o download dos arquivos BIBITEX (nas respectivas bases de dados). Com o auxílio do Mendeley serão selecionados os artigos por: a) título b) palavras-chave c) resumo. Artigos duplicados entre bases e/ ou não alinhados com a temática serão excluídos.
	6) Sistematização da bibliografia selecionada	Será construída uma planilha mostrando os artigos que sobraram depois da etapa 5. Nessa planilha explicitar-se-á o autor, ano de publicação, título, journal, objetivos e as particularidades dos métodos e/ou teorias de cada artigo.
Análise Bibliométrica	7) Exposição dos indicadores bibliométricos de cada artigo na planilha da etapa 6	Principais artigos, número de citações, impacto do artigo, peso do periódico, metodologias adotadas etc.
	8) Elaboração de gráficos para apresentar dados bibliométricos dos artigos	Principais autores, conexões entre autores via citações, ranking de publicações, timeline de publicações.

Fonte: Elaborada pelos autores

Inicialmente, foram encontrados 96 artigos. Após aplicação dos critérios de pré-seleção, 23 artigos foram mantidos. Em uma segunda triagem, com base nos critérios de inclusão (apenas publicações que abordem ou tratem de adoção de práticas agrícolas sustentáveis em pequenas propriedades rurais) e exclusão (publicações que não abordem ou tratem adoção de práticas agrícolas sustentáveis em pequenas propriedades rurais), deste modo, 9 artigos foram descartados, resultando em um portfólio final de 14 artigos elegíveis para análise em sua completude. Com auxílio do Mendeley, foram analisados os títulos, palavras-chave e resumos dos artigos. A análise bibliométrica permitiu mapear a produção científica recente, considerando a evolução das publicações, países de destaque, principais autores, redes de coautoria, periódicos com maior impacto e palavras-chave mais frequentes.

Na revisão sistemática, foram examinadas as seções de resumo e materiais e métodos, organizando-se as informações em planilha, com base em quatro eixos: objetivos, métodos, resultados e considerações finais. Essa análise permitiu identificar as

práticas sustentáveis investigadas e os fatores que influenciam sua adoção. Por fim, elaborou-se uma planilha de síntese com as práticas mais citadas, agrupadas por autor, e uma matriz final, que consolida os principais resultados e facilita a construção de inferências sobre a temática.

Análise bibliométrica da literatura

Esta seção apresenta uma análise bibliométrica da produção científica relacionada à adoção de práticas agrícolas sustentáveis por pequenos produtores rurais. A busca resultou em 96 publicações nos últimos cinco anos, das quais 14 artigos atenderam aos critérios de inclusão e foram selecionados para revisão aprofundada. Os estudos analisados abordam principalmente temas como mudanças climáticas, comportamento dos agricultores, tomada de decisão, resiliência e segurança alimentar. A tomada de decisão, em especial, se destaca como temática emergente, indicando crescente interesse em entender os fatores que influenciam a adoção de práticas sustentáveis.

Metodologicamente, predominaram estudos quantitativos, com aplicação de modelos estatísticos como regressão logística, regressão de Poisson, modelos Probit e modelagem de equações estruturais. A Teoria do Comportamento Planejado foi a base teórica mais frequentemente utilizada, evidenciando o foco em compreender os determinantes psicológicos e sociais da adoção de práticas sustentáveis. Quanto aos instrumentos de coleta de dados, destacaram-se os questionários e entrevistas.

No recorte temporal da produção, observou-se uma estagnação nas publicações entre 2022 e 2023, possivelmente relacionada à pandemia de Covid-19. No entanto, em 2024, houve um aumento expressivo no número de estudos sobre a temática. As palavras-chave mais frequentes nas publicações incluíram “agricultura sustentável”, “práticas agrícolas sustentáveis”, “adoção” e “gestão sustentável da terra”, refletindo o foco em sistemas agrícolas resilientes, ambientalmente responsáveis e voltados à segurança alimentar. Também foram recorrentes termos como “agroecologia”, “resiliência”, “cooperativas” e “fatores socioeconômicos”, indicando a adoção de abordagens interdisciplinares, conforme pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1: Nuvem de palavras das publicações no período (2020-2024).

Geograficamente, a maioria dos estudos foi conduzida na África Ocidental, região que enfrenta degradação ambiental e insegurança alimentar, o que torna urgente a adoção de práticas sustentáveis na agricultura local. Em termos de impacto acadêmico, o artigo mais citado foi publicado por Oyetunde-Usman et al. (2021), com 86 citações, analisando fatores que influenciam a adoção múltipla de práticas sustentáveis na Nigéria. O segundo artigo mais citado, de Nguyen e Drakou (2021), utilizou a Teoria do Comportamento Planejado para estudar intenções de adoção entre cafeicultores vietnamitas, enfatizando o papel da percepção das mudanças climáticas e da confiança social.

A média de citações entre os artigos da amostra foi de 18,78 por ano, com destaque para o ano de 2021 como o mais citado. Três dos estudos revisados foram publicados no *Journal of Cleaner Production*, periódico de alto impacto, consolidando-se como uma das principais fontes de disseminação sobre práticas agrícolas sustentáveis.

Sistematização da bibliografía

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis tem se mostrado eficaz tanto para melhorar os meios de subsistência de pequenos agricultores quanto para mitigar os impactos das mudanças climáticas (Santalucia e Sibhatu, 2023; Perelli et al., 2024). Tais práticas aumentam a produção, a renda e a disponibilidade de alimentos (Darkwah et al., 2019; Santalucia e Sibhatu, 2023; Perelli et al., 2024; Rashidi et al., 2024). Entre as práticas mais comuns observadas nos estudos revisados estão o manejo de pragas e doenças, a conservação do solo e da água, a aplicação de fertilizantes inorgânicos, o consórcio de cereais e leguminosas, além de técnicas alternativas de cultivo e o uso de sementes melhoradas.

Estudos em diversas regiões revelam a importância da adoção dessas práticas. Em Malawi, por exemplo, o programa *Sustainable Food Systems in Malawi* (FoodMa) teve um impacto positivo na resiliência das famílias, reduzindo significativamente a insegurança alimentar e demonstrando a importância do treinamento e da educação para fortalecer a resiliência (Mgomezulu et al., 2024). No Vietnã, a percepção sobre mudanças climáticas foi identificada como um fator crucial para a adoção de práticas sustentáveis pelos agricultores (Nguyen e Drakou, 2021). Na Costa do Marfim, a participação em cooperativas e esquemas de certificação, como Fairtrade e Rainforest Alliance, mostrou aumentar a sustentabilidade agrícola (Krumbiegel e Tillie, 2024). Em Gana, as redes institucionais e o acesso à extensão foram identificados como essenciais para intensificar a adoção de práticas sustentáveis entre produtores de óleo de palma (Ampofo et al., 2024).

Em países da África Ocidental, como a Nigéria, os fatores determinantes para a adoção de práticas agrícolas sustentáveis incluem idade, gênero, educação, tamanho da família, acesso a serviços de extensão e status econômico (Oyetunde-Usman et al., 2021). Em regiões áridas e semiáridas, fatores como disponibilidade de água e subsídios também desempenham um papel importante na adoção dessas práticas (El Fartassi et al., 2023). Estudos na Colômbia e em outros países em desenvolvimento, como o Chile, destacam a importância da educação, renda agrícola e participação em cooperativas para melhorar os meios de subsistência e aumentar a produção agrícola (Diaz et al., 2022; Benitez-Altuna et al., 2021). Além disso, pesquisas focadas nas mudanças climáticas apontam que fatores como a percepção de risco, a eficácia das respostas e o custo das práticas agrícolas sustentáveis influenciam a adoção de tecnologias inteligentes para o clima (Rodríguez-Barillas et al., 2024). Esses estudos ilustram a complexidade e os múltiplos fatores que influenciam a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, envolvendo aspectos ambientais, socioeconômicos e comportamentais. Na Figura 2 é apresentada a matriz síntese relativa ao objetivo proposto na elaboração desta revisão.

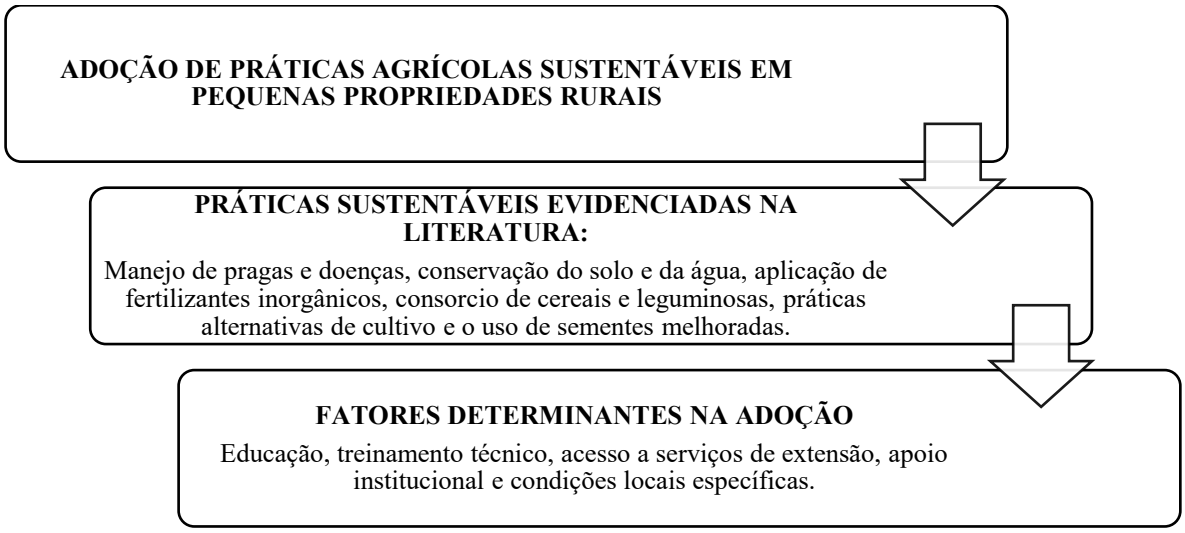


Figura 2: Matriz síntese da produção científica (2020-2024).
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ScienceDirect (2024).

Os estudos destacam a diversidade de fatores que influenciam a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, incluindo educação, treinamento técnico, acesso a serviços de extensão, apoio institucional e condições locais específicas. Esses elementos são cruciais para fortalecer a resiliência climática, melhorar a segurança alimentar e promover a sustentabilidade agrícola. A integração de políticas públicas, incentivos econômicos e suporte técnico adequado é essencial para atender às necessidades locais e enfrentar os desafios globais da agricultura sustentável.

Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo identificar as práticas agrícolas sustentáveis mais recorrentes na literatura científica e analisar os principais fatores que influenciam sua adoção por pequenos produtores rurais. Os estudos revisados evidenciam a complexidade e a diversidade dos elementos que impactam essa adoção em diferentes contextos ao redor do mundo. Fatores como educação, capacitação técnica, acesso a serviços de extensão rural, participação em cooperativas e apoio institucional são amplamente reconhecidos como determinantes. No entanto, características locais — como condições climáticas, percepções de risco e aspectos socioculturais — também exercem influência significativa sobre as decisões dos agricultores.

Os resultados ressaltam a importância de políticas públicas adaptadas às especificidades regionais, com foco no fortalecimento da resiliência climática, na melhoria da segurança alimentar e na promoção da sustentabilidade agrícola. Além disso, destacam a necessidade de ampliar a conscientização sobre as mudanças climáticas, oferecer incentivos econômicos adequados e facilitar o acesso a tecnologias e assistência técnica. Diante da urgência dos desafios ambientais e alimentares, a promoção da agricultura sustentável demanda abordagens integradas e colaborativas, que considerem simultaneamente as realidades locais e as dinâmicas globais.

Referências Bibliográficas

ADESIDA IE, NKOMOKI W, BAVOROVA M, MADAKI MY. Efeitos dos programas agrícolas e da propriedade da terra na adoção de práticas agrícolas sustentáveis na Nigéria. Sustentabilidade. 2021; 13(13):7249. https://doi.org/10.3390/su13137249

AMPOFO, O.; TSEKPO, E. M.; BOATENG, N. A. Professional networks and access to extension as drivers of sustainable agricultural practices among Ghanaian oil palm farmers. World Development Sustainability, v. 4, n. June, p. 100160, 2024.

BEKELE, R. D. et al. Irrigation technologies and management and their environmental consequences: Empirical evidence from Ethiopia. Agricultural Water Management, v. 302, n. January, p. 109003, 2024.

BENITEZ-ALTUNA, F. et al. Factors affecting the adoption of ecological intensification practices: A case study in vegetable production in Chile. Agricultural Systems, v. 194, p. 103283, 2021.

CELIDONIO, O. L. D.; WERNER, L. S.; GIL, J. D. B. The determinants of recent soybean expansion in Mato Grosso, Brazil. INTERNATIONAL FOOD AND AGRIBUSINESS MANAGEMENT REVIEW, v. 22, n. 2, p. 173–191, 2019.

COOK, D.J., MULROW, C.D., HAYNES, R.B. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. Annals of Internal Medicine. V. 126, Issue 5, p. 376-380, 1997.

CORDEIRO, A.M.; OLIVEIRA, G.M.D.; RENTERIA, J.M.; GUIMARÃES, C.A. Revisão Sistemática: uma revisão narrativa. Ver. Col. Bras. Cir, 34(6), p. 428-431, 2007.

CÔTE, François-Xavier et al. La transition agro-écologique des agricultures du Sud. éditions Quae, 2019.

D. Ng, J.W. Siebert. Toward better defining the field of agribusiness management. Int. Food Agribus. Manag. Rev., 12 (2009), p. 4

EL FARTASSI, I. et al. Evidence of collaborative opportunities to ensure long-term sustainability in African farming. Journal of Cleaner Production, v. 392, n. December 2022, p. 136170, 2023.

FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura). Desenvolvimento sustentável e gestão de recursos naturais. 25ª Conferência, Documento C 89/2, Suplemento 2. Roma (1989).

FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura). Agricultura Sustentável: Uma Ferramenta para Fortalecer a Segurança Alimentar e Nutricional na América Latina e no Caribe, FAO (2016).

FOGUESATTO, C.R; BORGES, J.A.R; MACHADO, J.A.D. Farmers' typologies regarding environmental values and climate change: Evidence from southern Brazil, Journal of Cleaner Production. v. 232, p. 400-407, 2019.ISSN 0959-6526,https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.275.

GONZALVO, C. M.; AALA, W. J. F.; MAHARJAN, K. L. Farmer decision-making on the concept of coexistence: a comparative analysis between organic and biotech farmers in the Philippines. Agriculture (Switzerland), v. 11, n. 9, 2021.

IMBIRI S, RAMEEZDEEN R, CHILESHE N, STATSENKO L. A Novel Taxonomy for Risks in Agribusiness Supply Chains: A Systematic Literature Review. Sustainability. 2021; 13(16):9217. https://doi.org/10.3390/su13169217

KRUMBIEGEL, K.; TILLIE, P. Sustainable practices in cocoa production. The role of certification schemes and farmer cooperatives. Ecological Economics, v. 222, p. 108211, 2024.

LIAO, X.; NGUYEN, T. P. L.; SASAKI, N. Use of the knowledge, attitude, and practice (KAP) model to examine sustainable agriculture in Thailand. Regional Sustainability, v. 3, n. 1, p. 41–52, 2022.

LITTELL, J.H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. Systematic Reviews and Meta Analysis. Oxford University Press, New York, 2008.

M. KASSIE, M. JALETA, B. SHIFERAW, F. MMBANDO, M. MEKURIA. Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: evidence from rural Tanzania. Technol. Forecast. Soc. Chang., 80 (2013), pp. 525-540.

MAHARJAN, K. L.; GONZALVO, C. M.; AALA, W. F. Drivers of Environmental Conservation Agriculture in Sado Island, Niigata Prefecture, Japan. SUSTAINABILITY, v. 14, n. 16, 2022.

MAHARJAN, K. L.; GONZALVO, C.; AALA, W. Dynamics of Environmental Conservation Agriculture (ECA) Utilization among Fujioka Farmers in Japan with High Biodiversity Conservation Awareness but Low ECA Interest. SUSTAINABILITY, v. 14, n. 9, 2022.

MAHARJAN, K. L.; SINGH, M.; GONZALVO, C. M. Drivers of environmental conservation agriculture and women farmer empowerment in Namobuddha municipality, Nepal. Journal of Agriculture and Food Research, v. 13, n. April, p. 100631, 2023.

MALDAYO, E.; SENAPATHY, M.; BOJAGO, E. Determinants of agricultural knowledge and information usage to achieve SDGs: Misrak Badawacho district, Southern Ethiopia. Journal of Agriculture and Food Research, v. 15, p. 100912, 2024.

MELLON-BEDI, S. et al. Motivational factors influencing farming practices in northern Ghana. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, v. 92, n. February, p. 100326, 2020.

MGOMEZULU, W. R. et al. Understanding spillover effects of sustained adoption of sustainable agricultural practices on household resilience to food shocks: Evidence from Malawi's sustainable food systems program. Journal of Agriculture and Food Research, v. 16, n. March, p. 101099, 2024.

MORODER, A. M.; KERNECKER, M. L. Grassland farmers' relationship with biodiversity: a case study from the northern Italian Alps. Ecosystems and People, v. 18, n. 1, p. 484–497, 2022.

NCHARE, K.; VITOULEY, M.; MBIH, R. Sustainable land management in Mali. Geography and Sustainability, v. 5, n. 3, p. 382–391, 2024.

NGUYEN, L. L. H.; HALIBAS, A.; NGUYEN, T. Q. Cooperative performance and lead firm support in cleaner production adoption: SEM-fsQCA analysis of precision agriculture acceptance in Vietnam. Journal of Cleaner Production, v. 475, p. 143724, 2024.

NGUYEN, N.; DRAKOU, E. G. Farmers intention to adopt sustainable agriculture hinges on climate awareness: The case of Vietnamese coffee. Journal of Cleaner Production, v. 303, p. 126828, 2021.

OYETUNDE-USMAN, Z.; OLAGUNJU, K. O.; OGUNPAIMO, O. R. Determinants of adoption of multiple sustainable agricultural practices among smallholder farmers in Nigeria. International Soil and Water Conservation Research, v. 9, n. 2, p. 241–248, 2021.

RISSMAN, A. R. et al. Sustaining land and people over time: Relationships with successor landowners on conservation easements. People and Nature, v. 5, n. 2, p. 542–556, 2023.

RODRÍGUEZ-BARILLAS, M.; POORTVLIET, P. M.; KLERKX, L. Unraveling farmers' interrelated adaptation and mitigation adoption decisions under perceived climate change risks. Journal of Rural Studies, v. 109, p. 103329, 2024.

ROSSI, E. S. et al. Farmers in the transition toward sustainability: what is the role of their entrepreneurial identity? Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 7, n. September, 2023.

SPINAK, E. Indicadores cienciométricos. Ciência da Informação. Brasília. V. 27, n. 2, p. 141-148, 1998.

TAPSOBA, P. K. et al. Understanding the behavioral drivers of smallholder agro-ecological practice adoption in Benin and Burkina Faso. Farming System, v. 1, n. 2, p. 100023, 2023.

TATIS DIAZ, R. et al. Socioeconomic determinants that influence the agricultural practices of small farm families in northern Colombia. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v. 21, n. 7, p. 440–451, 2022.

TSCHOPP, M.; CEDDIA, M. G.; INGUAGGIATO, C. Adoption of sustainable silvopastoral practices in Argentina's Gran Chaco: A multilevel approach. Journal of Arid Environments, v. 197, p. 104657, 2022.

ULUKAN, D. et al. Combining sustainable livelihood and farm sustainability approaches to identify relevant intensification options: Implications for households with crop-based and gathering-based livelihoods in Tanzania. Ecological Indicators, v. 144, n. September, 2022.

WANG, J. et al. North-to-south transfer of grain and meat products significantly reduces PM2.5 pollution and associated health risk in China. Resources, Environment and Sustainability, v. 17, n. September, p. 100168, 2024.

ZABALA, A.; BARRIOS, L. E. G.; PASCUAL, U. From participation to commitment in silvopastoral programmes: Insights from Chiapas, Mexico. Ecological Economics, v. 200, p. 107544, 2022.

ZHANG, Q.; SANNIGRAHI, S.; BILINTOH, T. M.; ZHANG, R.; XIONG, B.; TAO, S.; BILSBORROW, R.; SONG, C. Understanding human-environment interrelationships under constrained land-use decisions with a spatially explicit agent-based model, Anthropocene, v. 38, 2022, 100337, ISSN 2213-3054, https://doi.org/10.1016/j.ancene.2022.100337.

SIBHATU, K. T.; QAIM, M. Review: Meta-analysis of the association between production diversity, diets, and nutrition in smallholder farm households. Food Policy, v. 77, p. 1-18, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.04.013.

SANTALUCIA, S.; SIBHATU, K. T. Nourishing the farms, nourishing the plates: Association of climate-smart agricultural practices with household dietary diversity and food security in smallholders. Agribusiness, v. 40, p. 513–533, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/agr.21892.

DARKWAH, K. A.; KWAWU, J. D.; AGYIRE-TETTEY, F.; SARPONG, D. B. Assessment of determinants influencing the adoption of sustainable soil and water conservation practices in Techiman Municipality, Ghana. International Soil and Water Conservation Survey. https://doi.org/10.101/10.1016 /j.iswcr.2019.04.003.

RASHIDI, T.; PAKRAVAN-CHARVADEH, M. R.; GHOLAMREZAI, S.; RAHIMIAN, M. Efficiency of smallholder farmers' conservative behavior on their food security status in Iran. Regional Environmental Change, vhttps://doi.org/.org /10.1007 /s10113 -023 -02180-6.

— RESUMOS —

Técnicas e Estudos de Recuperação de Áreas Degradadas

8º SSS

USO DE BIOSSÓLIDO E INOCULAÇÃO BACTERIANA NA MELHORIA DO CRESCIMENTO DE *Canavalia ensiformis* EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE

1Laura Sarzi Sartori Viero, 2Raphaella dos Santos Lima, 3Bruno Christiano Leal Lima, 4Roberta Lago Giovelli, 5Natielo Almeida Santana, 6Andressa de Oliveira Silveira

1Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: Viero.laura@acad.ufsm.br; 2Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: raphaella.lima@acad.ufsm.br; 3Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: bruno.leal@acad.ufsm.br; 4Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: roberta.lagogiovelli@gmail.com; 5Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, e-mail: natielo_sm@hotmail.com, 6Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: andressa.silveira@ufsm.br

Palavras-chave: Fitorremediação; Biossólido; Cobre.

Resumo

A mineração de cobre (Cu) pode causar contaminação do solo, comprometendo sua qualidade e o desenvolvimento de plantas neste compartimento ambiental. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de biossólido e da inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas (*Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*) no desenvolvimento do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) cultivado em solo contaminado por Cu, coletado em área impactada por rejeitos de mineração em Caçapava do Sul (RS). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com três doses de biossólido (0 kg N ha^{-1}, 45 kg N ha^{-1} e 90 kg N ha^{-1}) e dois tratamentos de inoculação (com e sem), organizados em arranjo fatorial (2 × 3). As variáveis avaliadas foram a massa seca da parte aérea e das raízes das plantas. Os resultados indicaram que nem a aplicação de biossólido nem a inoculação bacteriana promoveram aumentos significativos na biomassa aérea e radicular, embora tenha sido observada uma tendência positiva na biomassa radicular com a inoculação. Esses dados sugerem que, nas condições testadas, o uso isolado desses tratamentos pode ser insuficiente para potencializar o crescimento de *C. ensiformis* em solos contaminados por cobre. Recomenda-se a realização de estudos adicionais com ajustes nas doses e combinações de insumos para otimizar a fitorremediação.

Introdução

A mineração de cobre (Cu) é uma atividade que pode causar degradação ambiental, especialmente pela disposição inadequada de rejeitos, que podem contaminar o solo e comprometer sua qualidade. No município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, há uma área impactada com aproximadamente 150 hectares, onde as concentrações de cobre total no solo podem atingir até 953,20 mg kg^{-1} (USEPA 3050). O Cu é um micronutriente essencial para as plantas, porém, quando em excesso, provoca toxidez e redução do crescimento. Além disso, o Cu pode afetar a saúde humana, podendo causar, quando em níveis elevados de exposição, doenças hepáticas.

Nesse contexto, o uso de biossólidos surge como uma alternativa promissora na reabilitação destes solos, por melhorar as propriedades biológicas e físico-químicas e favorecer a revegetação, contribuindo para a fitorremediação de áreas contaminadas (Al-Lami *et al*., 2021; Harris *et al*., 2021). O biossólido é um produto resultante do tratamento do lodo de esgoto sanitário, que, ao atender aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos na Resolução CONAMA n.º 498/2020, está apto a ser aplicado em solos (Brasil, 2020).

A fitorremediação, aliada ao uso de biossólido, surge como uma estratégia eficaz, consistindo no cultivo de plantas em solos contaminados para remover metais pesados ou estabilizá-los em formas menos tóxicas (Al-Lami *et al*., 2022; Tamiozzo, 2023; Vitkóva *et al*., 2024). O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis L*.) destaca-se como uma leguminosa de alto potencial para fitorremediação, aliando elevada produção de biomassa e capacidade de fixação biológica de nitrogênio (Santana *et al*., 2020; Tamiozzo, 2023).

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) também têm se mostrado eficazes na melhoria da fitorremediação de áreas contaminadas por metais, demonstrando efeitos positivos no estabelecimento e desenvolvimento de plantas em solos contaminados, contribuindo para estratégias mais eficientes de fitorremediação (Benidire *et al*., 2022; Madline *et al*., 2021). Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de biossólido e da inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas (*Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*) no desenvolvimento do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) cultivado em solo contaminado por Cu, coletado em área impactada por rejeitos de mineração em Caçapava do Sul (RS).

Metodologia

O solo foi coletado em uma área impactada por rejeitos de mineração de cobre, situada na região das Minas do Camaquã. A amostragem foi realizada na camada superficial do solo (0 cm – 20 cm de profundidade). Posteriormente, o material coletado foi submetido à secagem ao ar em temperatura ambiente, peneirado em malha de 2 mm para remoção de partículas maiores e detritos e homogeneizado para posterior utilização nos ensaios experimentais.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob luz natural e com temperatura ajustada para 24 °C. Cada tratamento contou com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Utilizaram-se vasos com capacidade de 2 L, preenchidos com 1,8 kg de solo seco para o cultivo de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). Foram semeadas quatro sementes por vaso, realizando-se o desbaste após a emergência das plântulas, mantendo-se duas plantas por vaso.

Os tratamentos foram compostos por um arranjo fatorial 2 × 3, envolvendo duas condições de inoculação (com e sem inoculação conjunta de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*) e três doses de biossólido (0 kg N ha^{-1}, 45 kg N ha^{-1} e 90 kg N ha^{-1}), correspondentes a 3,27 g e 6,54 g de material seco por kg de solo, e foram definidas com base nos estudos de Tamiozo (2023). Os valores foram ajustados para atender aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 498/2020 (Brasil, 2020), garantindo segurança ambiental e compatibilidade com o uso agrícola. Cada unidade experimental também foi inoculada com bactérias do gênero *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 6158).

As plantas foram colhidas no estágio de florescimento e os materiais vegetais (parte aérea e raízes) foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem peso constante. A seguir, a massa seca da parte aérea e das raízes foi determinada em balança analítica, com os resultados expressos em gramas por planta (g $vaso^{-1}$). A análise estatística foi realizada no software R, os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade (Shapiro-Wilk) e após à análise de variância (ANOVA). Quando detectada significância pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados

O teor de Cu no solo, determinado por Mehlich-1, foi de 674 mg kg^{-1}. Os resultados para a massa seca da parte aérea de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado com cobre indicaram que não houve efeito significativo das doses de biossólido ($p = 0,91467$), da inoculação bacteriana ($p = 0,72118$) ou da interação entre esses fatores ($p = 0,75091$). As médias variaram pouco, de 10,01 g $vaso^{-1}$ (45 kg N ha^{-1}) a 10,49 g $vaso^{-1}$ (90 kg N ha^{-1}), mostrando que a aplicação de biossólido não promoveu aumentos expressivos na biomassa aérea.

De forma semelhante, a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* não resultou em ganho significativo, com médias de 10,39 g $vaso^{-1}$ para plantas inoculadas e 10,04 g $vaso^{-1}$ para não inoculadas. O coeficiente de variação (23,15 %) indicou variabilidade moderada, comum em solos contaminados. O teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, $p = 0,0873$) validou a ANOVA.

Quanto à massa seca das raízes, também não houve efeito significativo das doses de biossólido ($p = 0,9938$), da inoculação bacteriana ($p = 0,08886$) ou da interação ($p = 0,8870$). Apesar disso, houve uma tendência de aumento de 14 % na biomassa radicular das plantas inoculadas (1,77 g $vaso^{-1}$) em relação às não inoculadas (1,56 g $vaso^{-1}$), sem significância estatística. Por outro lado, a aplicação de biossólido não impactou a massa seca das raízes, com médias muito semelhantes entre os tratamentos: 1,66 g (0 kg N ha^{-1}), 1,67 g (45 kg N ha^{-1}) e 1,66 g (90 kg N ha^{-1}). O CV para a biomassa radicular foi de 17,67 % e a normalidade dos resíduos foi confirmada (Shapiro-Wilk, $p = 0,9946$).

A aplicação de biossólido nas doses testadas não promoveu ganhos expressivos na biomassa aérea ou radicular. A tendência positiva observada com a inoculação bacteriana indica que estudos futuros, com ajustes experimentais e diferentes estratégias, são necessários para potencializar o crescimento de *C. ensiformis* em solos contaminados por metais pesados.

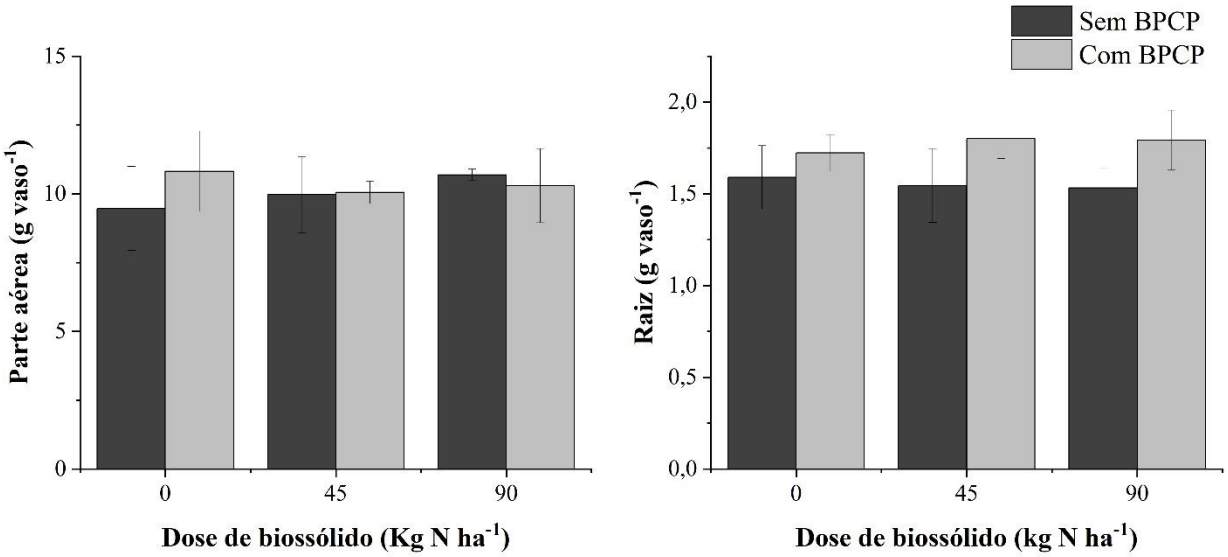


Figura 1 - Efeitos da aplicação de biossólido e da inoculação bacteriana no crescimento de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado por Cu.

Conclusão

Os resultados deste estudo indicam que, nas condições avaliadas, a aplicação de biossólido nas doses de 0 kg N ha^{-1}, 45 kg N ha^{-1} e 90 kg N ha^{-1} não promoveu aumento significativo na biomassa aérea ou radicular de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado com Cu. A inoculação conjunta com as bactérias promotoras do crescimento *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* também não resultou em ganhos estatisticamente significativos, embora tenha apresentado uma tendência positiva na biomassa radicular. Esses achados sugerem que, para a fitorremediação de áreas impactadas por rejeitos de mineração de Cu, a simples aplicação do biossólido e a inoculação bacteriana, isoladamente, podem ser insuficientes para promover melhorias expressivas no desenvolvimento da planta. Assim, recomenda-se a realização de estudos complementares, contemplando ajustes nas doses, combinações com outros bioinsumos e manejo adaptativo, com o objetivo de otimizar o desempenho de *C. ensiformis* em ambientes contaminados e potencializar os processos de fitorremediação.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

AL-LAMI, Mariam K. *et al*. High throughput screening of native species for tailings eco- restoration using novel computer visualization for plant phenotyping. **Science of The Total Environment**, v. 780, p. 146490, 2021.

AL-LAMI, Mariam K. *et al*. Phytomanagement of Pb/Zn/Cu tailings using biosolids-biochar or-humus combinations: Enhancement of bioenergy crop production, substrate functionality, and ecosystem service**s. Science of the Total Environment**, v. 836, p. 155676, 2022

BENIDIRE, Leila *et al*. Remediation of metal-contaminated mine tailings by the application of organic and mineral amendments. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1-14, 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 498, de 19 de agosto de 2020b. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 ago. 2020. Seção 1, p. 265 a 269.

HARRIS, Michelle E.; GARDNER, Wendy C.; PYPKER, Thomas. Influence of a one-time biosolids application on elemental and nutrient concentrations on mine tailings. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 101, n. 4, p. 703-716, 2021.

MA, Ying *et al*. Inoculation of Brassica oxyrrhina with plant growth promoting bacteria for the improvement of heavy metal phytoremediation under drought conditions. **Journal of hazardous materials**, v. 320, p. 36-44, 2016.

MADLINE, Atika; BENIDIRE, Leila; BOULARBAH, Ali. Alleviation of salinity and metal stress using plant growth-promoting rhizobacteria isolated from semiarid Moroccan copper- mine soils. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 67185-67202, 2021.

SANTANA, Pedro Henrique Lopes *et al*. Jack beans and vetiver grass growth on iron ore tailing sediments from the Doce River dam disaster in Brazil: plant growth regulator effects under different edaphic conditions. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 4103-4110, 2020.

SHARMA, Pallavi *et al*. Efficient utilization of plant biomass after harvesting the phytoremediator plants. In: **Phytorestoration of abandoned mining and oil drilling sites**. Elsevier, 2021. p. 57-84.

TAMIOZZO, Fernanda. Fitorremediação em associação com o uso de biossólido em solo impactado por rejeito de mineração de cobre. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2023.

VÍTKOVÁ, Martina *et al*. Sustainable use of composted sewage sludge: Metal (loid) leaching behaviour and material suitability for application on degraded soils. **Science of The Total Environment**, v. 929, p. 172588, 2024.

WAR, Aadil Farooq *et al*. Microbiomes in Climate Smart Agriculture and Sustainability. In: Microbiomes for the Management of Agricultural Sustainability. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 209-228.

EFEITO DO BIOSSÓLIDO E DO ESTRESSE HÍDRICO NO CRESCIMENTO DE *Canavalia ensiformis* EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE

1Bruno Christiano Leal Lima, 2Raphaella dos Santos Lima, 3Douglas Leandro Scheid, 4Valéria Ortaça Portela, 5Fernanda Tamiozzo, 6Laura Sarzi Sartori Viero, 7Natielo Almeida Santana, 8Andressa de Oliveira Silveira

1Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: bruno.leal@acad.ufsm.br; 2Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: raphaella.lima@acad.ufsm.br; 3Universidade Federal de Santa Maria, e-mail:douglasscheid@gmail.com; 4Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: valeriaortacaportela@gmail.com; 5Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: fetamiozzo@gmail.com; 6Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: Viero.laura@acad.ufsm.br; 7Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, e-mail: natielo_sm@hotmail.com; 8Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: andressa.silveira@ufsm.br.

Palavras-chave: Fitorremediação; lodo de ETE; amenizante orgânico.

Resumo

A mineração de cobre (Cu) no Brasil, especialmente na região das Minas do Camaquã (RS), pode causar contaminação do solo, comprometendo a qualidade ambiental e os serviços ecossistêmicos. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de biossólido e dos níveis de umidade do solo no crescimento de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo arenoso contaminado com Cu. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 × 3, combinando três doses de biossólido (0, 180 e 360 kg N ha^{-1}) e três níveis de umidade do solo (70%, 55% e 35% da capacidade de campo). Os resultados não mostraram efeito significativo das doses de biossólido sobre a biomassa da parte aérea e das raízes. Por outro lado, a umidade do solo influenciou significativamente a biomassa da parte aérea, com os maiores valores observados nas umidades de 55% e 70% da capacidade de campo, enquanto o estresse hídrico severo (35%) reduziu drasticamente o crescimento das plantas. Esses resultados indicam que a disponibilidade hídrica é um fator determinante para o desenvolvimento de *C. ensiformis* em solos contaminados com Cu, enquanto as doses de biossólido testadas foram insuficientes para promover aumento significativo na produção de biomassa.

Introdução

A mineração de cobre (Cu) no Brasil, especialmente na região das Minas do Camaquã, no Rio Grande do Sul, tem gerado sérios impactos ambientais, entre eles a contaminação do solo por este metal, com concentrações que podem atingir até 953,20 mg kg^{-1} (USEPA 3050). Esse nível de contaminação compromete não apenas a qualidade do solo e da vegetação local, mas também gera riscos significativos, como a intensificação da erosão e a poluição de corpos d'água superficiais e subterrâneos.

A fitorremediação surge como uma solução viável para a recuperação de áreas contaminadas, utilizando plantas com capacidade de remover ou estabilizar metais pesados. No entanto, os solos afetados por rejeitos de mineração apresentam baixa fertilidade, escassez de matéria orgânica e textura predominantemente arenosa, o que agrava o estresse hídrico e dificulta o desenvolvimento vegetal, reduzindo a eficiência dos processos de revegetação e fitorremediação.

Nesse contexto, o uso de biossólidos tem se destacado como uma estratégia promissora para a reabilitação de solos contaminados. O biossólido é um produto resultante do tratamento do lodo de esgoto sanitário, que, ao atender aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020, está apto a ser aplicado em solos (BRASIL, 2020). Rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais, promove melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, como o aumento da retenção de água, a correção do pH e o aporte nutricional necessário ao crescimento vegetal (ZHOU et al., 2020). A associação entre fitorremediação e o uso de biossólidos representa uma abordagem integrada e eficaz, capaz de potencializar tanto a fitoestabilização quanto a fitoextração de metais pesados em áreas degradadas (VITKÓVA et al., 2024). No caso específico das Minas do Camaquã, em Caçapava do Sul, o solo apresenta textura arenosa (92,91%) e baixos teores de matéria orgânica (0,7%), o que favorece o déficit hídrico e intensifica os desafios da revegetação.

Neste cenário, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) destaca-se como uma espécie promissora para a fitorremediação. Trata-se de uma leguminosa de ciclo de verão, amplamente utilizada em práticas de adubação verde e cobertura do solo, que vem sendo estudada por sua tolerância e potencial para remediação de áreas contaminadas com elevados teores de cobre (TAMIOZZO, 2023). Além disso, sua simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* potencializa sua adaptação e eficiência em solos degradados (SILVA et al., 2019).

Assim, o uso de biossólido em sistemas de fitorremediação pode representar uma solução sustentável para a recuperação de solos contaminados com Cu. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de biossólido e dos níveis de umidade do solo no crescimento de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo arenoso contaminado com Cu.

Metodologia

O solo foi coletado em uma área impactada por rejeitos de mineração de Cu, situada na região das Minas do Camaquã. A amostragem foi realizada na camada superficial do solo (0–20 cm de profundidade). Posteriormente, o material coletado foi submetido à secagem ao ar em temperatura ambiente, peneirado em malha de 2 mm para remoção de partículas maiores e detritos, e homogeneizado para posterior utilização nos ensaios experimentais. O teor de Cu no solo, determinado por Mehlich-1, foi de 674,20 mg kg^{-1}.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob condições semi-controladas, com luz natural e temperatura ajustada para 24 °C. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 × 3, totalizando nove tratamentos, resultantes da combinação de três doses de biossólido (0, 180 e 360 kg N ha^{-1} de solo) e três níveis de umidade do solo (70%, 55% e 35% da capacidade de campo). Cada tratamento foi repetido quatro vezes, totalizando 36 unidades experimentais. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 5 L, preenchidos com 3,5 kg de solo seco. Antes do plantio, o solo foi incubado por sete dias com as respectivas doses de biossólido, conforme os tratamentos. As doses foram definidas com base no estudo de Tamiozo (2023), correspondendo às aplicações de 180 e 360 kg ha^{-1}, o que equivale à adição de 13,08 e 26,16 g de biossólido seco por kg de solo, respectivamente. Essas quantidades foram escolhidas por sua eficácia como condicionadores orgânicos na fitorremediação, respeitando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020 (BRASIL, 2020). A semeadura foi realizada com quatro sementes de *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) por vaso. Após a emergência das plântulas, foi feito o desbaste, mantendo-se duas plantas por unidade experimental. Simultaneamente, todos os vasos foram inoculados com bactérias da espécie *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 6158).

Com relação à umidade do solo, três tratamentos foram mantidos constantemente a 70% da capacidade de campo durante todo o experimento. Os demais seis tratamentos envolveram condições de estresse hídrico em dois níveis: leve, com retenção hídrica de 55%, conforme Peng et al. (2022); e severo, com 35% da capacidade de campo, conforme Ahmed et al. (2021). A umidade dos vasos foi monitorada diariamente por pesagem e ajustada com adições de água destilada, garantindo a manutenção dos níveis definidos para cada tratamento.

As plantas foram colhidas no estágio de florescimento, e os materiais vegetais (parte aérea e raízes) foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem peso constante. A seguir, a massa seca da parte aérea e das raízes foi determinada em balança analítica, com os resultados expressos em gramas por planta (g $vaso^{-1}$). A análise estatística foi realizada no software R, os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade (Shapiro Wilk) e após análise de variância (ANOVA). Quando detectada significância pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados

A análise de variância (ANOVA) não identificou interação significativa entre os fatores dose de nitrogênio via biossólido e nível de umidade do solo para a massa seca da parte aérea de *C. ensiformis* ($p = 0,8678$). Dessa forma, os efeitos principais foram avaliados separadamente. Para o fator dose de biossólido, não foi observado efeito significativo ($p = 0,2169$), indicando que a aplicação de biossólido nas doses de 180 e 360 kg N ha^{-1} não resultou em aumento estatisticamente relevante na biomassa aérea em comparação ao controle (0 kg N ha^{-1}). As médias obtidas foram de 10,94 g $vaso^{-1}$ (controle), 16,44 g $vaso^{-1}$ (180 kg N ha^{-1}) e 12,09 g $vaso^{-1}$ (360 kg N ha^{-1}), com elevado coeficiente de variação (CV = 60,01%), refletindo alta variabilidade dos dados.

Por outro lado, o fator umidade do solo apresentou efeito significativo sobre a massa seca da parte aérea ($p = 0,0430$) (Figura 1). O teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) indicou que as maiores médias foram observadas nos tratamentos com 55% (16,12 g $vaso^{-1}$) e 70% da capacidade de campo (15,11 g $vaso^{-1}$), que não diferiram entre si. Em contraste, o menor valor foi registrado sob estresse hídrico severo (35% da capacidade de campo), com média de 8,24 g $vaso^{-1}$, evidenciando que a restrição hídrica intensa comprometeu significativamente o desenvolvimento da parte aérea das plantas. O teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, $p = 0,962$) confirmou a aderência dos dados ao modelo estatístico adotado.

Para a massa seca das raízes, também não foi observada interação significativa entre os fatores ($p = 0,9839$), sendo os efeitos principais analisados de forma independente. Tanto o fator dose de biossólido ($p = 0,4815$) quanto o fator umidade do solo ($p = 0,2766$) não apresentaram efeito significativo sobre a biomassa radicular. As médias para as doses de nitrogênio foram de 1,49 g $vaso^{-1}$ (0 kg N ha^{-1}), 1,38 g $vaso^{-1}$ (180 kg N ha^{-1}) e 1,13 g $vaso^{-1}$ (360 kg N ha^{-1}), sugerindo uma tendência de redução da biomassa radicular com o aumento da dose, embora sem significância estatística.

Quanto à umidade, as maiores médias foram observadas nos tratamentos com 55% (1,52 g $vaso^{-1}$) e 70% da capacidade de campo (1,43 g $vaso^{-1}$), enquanto o menor valor ocorreu sob 35% (1,05 g $vaso^{-1}$). Apesar das diferenças numéricas, os efeitos não foram estatisticamente significativos, indicando que, nas condições avaliadas, o desenvolvimento radicular foi pouco sensível às variações na umidade do solo contaminado com Cu. O coeficiente de variação (CV = 56,36%) foi elevado, o que é comum em experimentos conduzidos em ambientes sujeitos a estresse abiótico, como solos contaminados. O teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,378$) confirmou a normalidade dos resíduos, validando a aplicação da ANOVA.

Embora não tenha sido observado efeito significativo da aplicação de biossólido sobre a massa seca da parte aérea e das raízes de *C. ensiformis*, a variável umidade do solo apresentou impacto significativo no desenvolvimento da parte aérea, com as menores médias registradas sob estresse hídrico severo (35% da capacidade de campo). Este resultado corrobora a sensibilidade da espécie à limitação hídrica, como também foi observado por Santana et al. (2020), que reportaram aumento expressivo na biomassa de *C. ensiformis* cultivada em rejeitos de mineração sob condições ótimas de umidade e com aplicação de reguladores

de crescimento vegetal, alcançando incrementos de 79% na biomassa da parte aérea e 67% na radicular em relação ao controle. Por outro lado, sob condições limitantes de água e nutrientes, o efeito dos bioestimulantes foi mais modesto, com aumento de 34% na biomassa aérea, o que sugere que, mesmo com intervenções, o estresse hídrico exerce forte influência sobre o desenvolvimento da espécie.

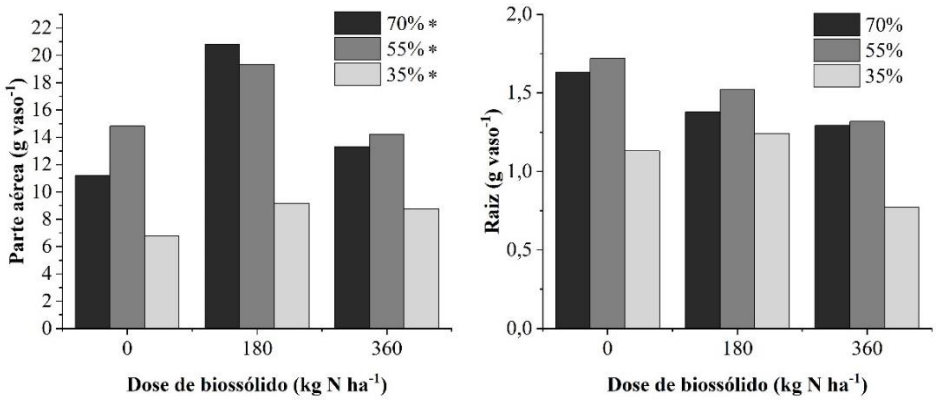


Figura 1 - Efeito das doses de biossólido (0, 180 e 360 kg N ha⁻¹) e dos níveis de umidade do solo (70%, 55% e 35% da capacidade de campo) sobre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes de *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado com Cu.

Conclusão

Os resultados indicam que a aplicação de biossólido nas doses avaliadas (180 e 360 kg N ha⁻¹) não promoveu aumentos significativos na biomassa aérea e radicular de *C. ensiformis* cultivada em solo arenoso contaminado com Cu, embora tenha sido observada tendência de incremento na dose intermediária (180 kg N ha⁻¹). Por outro lado, a umidade do solo exerceu efeito significativo no crescimento da parte aérea, com melhor desempenho nas condições de 55% e 70% da capacidade de campo, enquanto o estresse hídrico severo (35%) comprometeu o desenvolvimento das plantas. Conclui-se que a mitigação do estresse hídrico é mais determinante para o desenvolvimento de *C. ensiformis* do que a aplicação das doses de biossólido testadas. Contudo, os resultados sugerem que ajustes nas doses e a associação com outros condicionantes do solo podem potencializar a fitorremediação, destacando a importância de práticas integradas de manejo em áreas impactadas por mineração.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e a Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

AHMED, Temoor et al. Nanoparticle-based amelioration of drought stress and cadmium toxicity in rice via triggering the stress responsive genetic mechanisms and nutrient acquisition. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 209, p. 111829, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020b. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 ago. 2020. Seção 1, p. 265 a 269.

PENG, Xiaobo et al. Impacts of water deficit and post-drought irrigation on transpiration rate, root activity, and biomass yield of Festuca arundinacea during phytoextraction. **Chemosphere**, v. 294, p. 133842, 2022.

SANTANA, Pedro Henrique Lopes et al. Jack beans and vetiver grass growth on iron ore tailing sediments from the Doce River dam disaster in Brazil: plant growth regulator effects under different edaphic conditions. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 4103-4110, 2020.

SILVA, V. M. A. et al.. Cross-feeding among soil bacterial populations: selection and characterization of potential bio-inoculants. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 1–23, 2019.

TAMIOZZO, Fernanda. Fitorremediação em associação com o uso de biossólido em solo impactado por rejeito de mineração de cobre. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2023.

VÍTKOVÁ, Martina et al. Sustainable use of composted sewage sludge: Metal (loid) leaching behaviour and material suitability for application on degraded soils. **Science of The Total Environment**, v. 929, p. 172588, 2024.

ZHOU, Hu et al. Effect of long-term organic amendments on the full-range soil water retention characteristics of a Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v. 202, p. 104663, 2020.

EFEITO DO BIOSSÓLIDO E DA INOCULAÇÃO BACTERIANA NO TEOR DE CLOROFILA DE *Canavalia ensiformis* NA FITORREMEDIAÇÃO DE COBRE NO SOLO

1Leonardo Pimenta, 2Raphaella dos Santos Lima, 3Laura Sarzi Sartori Viero, 4Bruno Christiano Leal Lima, 5Rodrigo Jacques Seminotti, 6Natielo Almeida Santana, 7Andressa de Oliveira Silveira

1Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: leonardo.pimenta@acad.ufsm.br; 2Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: raphaella.lima@acad.ufsm.br; 3Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: Viero.laura@acad.ufsm.br; 4Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: bruno.leal@acad.ufsm.br; 5Universidade Federal de Santa Maria, e-mail:rodrigo@ufsm.br; 6Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, e-mail: natielo_sm@hotmail.com, 7Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: andressa.silveira@ufsm.br

Palavras-chave: SPAD; Feijão-de-porco; Nitrogênio.

Resumo:

A contaminação de solos por rejeitos de mineração de cobre (Cu) representa um desafio ambiental significativo, comprometendo a qualidade do solo e o desenvolvimento vegetal. O teor de clorofila é um indicador sensível do estado nutricional das plantas, especialmente quanto ao nitrogênio, além de refletir diretamente sua capacidade fotossintética e a resposta ao estresse causado pela contaminação por metais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de biossólido, associado ou não à inoculação conjunta de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*, sobre o teor de clorofila em *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado por Cu. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando um delineamento fatorial 2 × 3, com dois níveis de inoculação (com e sem) e três doses de biossólido (0, 45 e 90 kg N ha^{-1}). O teor de clorofila foi avaliado por meio do índice SPAD. Os resultados indicaram efeito positivo das doses de biossólido no teor de clorofila, demonstrando incremento linear com o aumento da dose. Por outro lado, a inoculação bacteriana não apresentou efeito significativo sobre esse parâmetro. Dessa forma, conclui-se que a aplicação de biossólido é uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho fisiológico de *C. ensiformis* durante a fitorremediação de solos contaminados com Cu.

Introdução

A mineração de Cu é uma das principais causas de degradação ambiental, especialmente devido à disposição inadequada de rejeitos, que pode levar à contaminação do solo, comprometendo sua qualidade e funcionalidade. Em Caçapava do Sul, no Rio Grande do Sul, existe uma área fortemente impactada pela deposição de rejeitos de mineração de Cu na década de 1980, caracterizada por elevados teores de cobre e baixo desenvolvimento vegetal. Embora o Cu seja um micronutriente essencial para o metabolismo vegetal, quando presente em excesso pode se tornar tóxico, inibindo o crescimento das plantas e afetando negativamente a saúde humana, com riscos de doenças hepáticas em casos de exposição elevada.

Nesse contexto, o uso de biossólidos desponta como uma alternativa promissora para a reabilitação de solos contaminados, por sua capacidade de melhorar as propriedades físico-químicas e biológicas do solo e favorecer a revegetação, contribuindo para a fitorremediação de áreas degradadas (HARRIS et al., 2021). O biossólido é o produto do tratamento do lodo de esgoto sanitário e, quando atende aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos por regulamentações nacionais (BRASIL, 2020), pode ser aplicado em solos com segurança. Sua utilização como condicionador orgânico pode promover a elevação do pH, aumento da retenção de água, fornecimento de nutrientes e estímulo à atividade biológica do solo, beneficiando o crescimento vegetal (ZHOU et al., 2020).

A fitorremediação, quando associada à aplicação de biossólido, constitui uma estratégia eficiente para a recuperação de áreas contaminadas, sendo baseada no uso de plantas para remover, imobilizar ou estabilizar metais pesados no solo (TAMIOZZO, 2023; VITKÓVA et al., 2024). Entre as espécies com potencial para essa finalidade, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis L.*) destaca-se por sua elevada produção de biomassa, rusticidade e capacidade de fixação biológica de nitrogênio (SANTANA et al., 2020; TAMIOZZO, 2023).

Além disso, as bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) têm demonstrado grande potencial para melhorar a eficiência da fitorremediação em solos contaminados por metais pesados, promovendo o estabelecimento e o crescimento das plantas em condições adversas (BENIDIRE et al., 2022; MADLINE et al., 2021). Em consonância com os princípios da agricultura de precisão, índices rápidos, práticos e não destrutivos para avaliação do estado nutricional das plantas, especialmente quanto ao nitrogênio (N), vêm sendo cada vez mais utilizados (FONTES, 2011). Entre esses, destaca-se o uso do medidor portátil SPAD-502, que quantifica indiretamente o teor de clorofila nas folhas, correlacionado com o estado nutricional de N das plantas (VIDIGAL et al., 2018). Segundo Pan et al. (2019), a inoculação com BPCP pode aumentar os teores de clorofila, melhorar a eficiência fotossintética e estimular a produção de compostos antioxidantes, contribuindo para a melhoria da qualidade nutricional das plantas. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da inoculação conjunta de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*, associada a diferentes doses de biossólido, sobre o teor de clorofila em *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado por Cu.

Metodologia

O solo foi coletado em uma área impactada por rejeitos de mineração de Cu, situada na região das Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS. A amostragem foi realizada na camada superficial do solo (0–20 cm de profundidade). Posteriormente, o material coletado foi submetido à secagem ao ar em temperatura ambiente, peneirado em malha de 2 mm para remoção de partículas maiores e detritos, e homogeneizado para posterior utilização nos ensaios experimentais. O teor de Cu no solo, determinado por Mehlich-1, foi de 674,20 mg kg^{-1}.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob luz natural e com temperatura ajustada para 24 °C. Cada tratamento contou com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Utilizaram-se vasos com capacidade de 2 L, preenchidos com 1,8 kg de solo seco para o cultivo de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). Foram semeadas quatro sementes por vaso, realizando-se o desbaste após a emergência das plântulas, mantendo-se duas plantas por vaso.

Os tratamentos foram compostos por um arranjo fatorial 2 × 3, envolvendo duas condições de inoculação (com e sem inoculação conjunta de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*) e três doses de biossólido (0, 45 e 90 kg N ha^{-1}), correspondentes a 3,27 e 6,54 g de material seco por kg de solo, e foram definidas com base nos estudos de Tamiozo (2023). Os valores foram ajustados para atender aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 498/2020 (BRASIL, 2020), garantindo segurança ambiental e compatibilidade com o uso agrícola. Cada unidade experimental também foi inoculada com bactérias do gênero *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 6158).

O teor de clorofila nas folhas, foi medido durante o florescimento utilizando um clorofilômetro (SPAD-502, Chlorophyll Meter, Japão). A análise estatística foi realizada no software R, os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade (Shapiro-Wilk) e após análise de variância (ANOVA). Quando detectada significância pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados

A análise do teor de clorofila nas folhas de *Canavalia ensiformis*, revelou que não houve interação significativa entre os fatores dose de biossólido e inoculação bacteriana ($p = 0,61638$). Portanto, os efeitos dos fatores foram avaliados de forma isolada.

Em relação à dose de biossólido, houve efeito significativo ($p = 0,00574$) sobre os teores de clorofila. O ajuste do modelo indicou uma relação linear significativa, com aumento no índice teor de clorofila à medida que se elevou a dose de biossólido. O modelo linear apresentou alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$), indicando que 89% da variação no teor da clorofila pode ser explicada pela dose aplicada (Figura 1). Esse resultado demonstra que, para cada incremento na dose de biossólido, houve um aumento proporcional no índice de clorofila nas folhas, sugerindo uma melhoria no estado nutricional das plantas e na atividade fotossintética. Esse aumento pode estar relacionado ao fornecimento de nutrientes, especialmente nitrogênio, presente no biossólido, que é fundamental para a síntese de clorofila e para a atividade fotossintética (ELALAMI et al., 2020). Além disso, estudos têm mostrado que a aplicação de biossólido contribui para a melhoria da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas (ELALAMI et al., 2020; TAMIOZO, 2023).

Quanto à inoculação bacteriana, não foi observado efeito estatisticamente significativo ($p = 0,08017$) sobre o teor de clorofila. As médias observadas foram de 33,53 para plantas inoculadas e 37,06 para plantas não inoculadas, não apresentando diferença significativa pelo teste F. O coeficiente de variação (CV) foi de 13,23%, considerado adequado para experimentos em condições de casa de vegetação, e o teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, $p = 0,4505$) confirmou que os pressupostos da análise foram atendidos. De forma geral, os resultados indicam que o biossólido teve efeito positivo na melhoria dos teores de clorofila nas plantas, enquanto a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* não influenciou significativamente esse parâmetro sob as condições testadas.

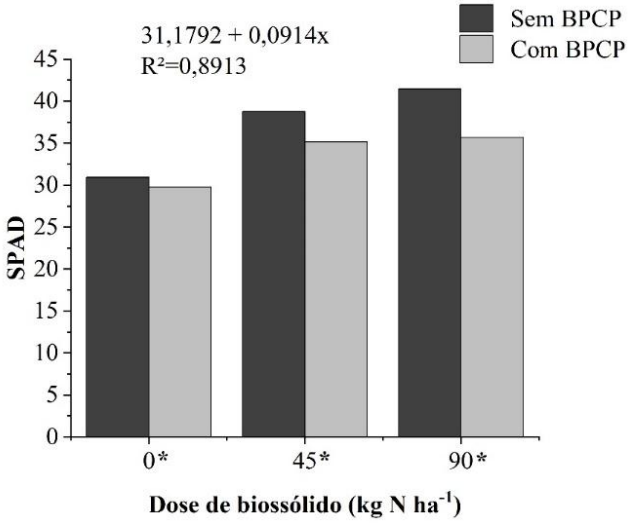


Figura 4 - Resposta do teor de clorofila foliar à aplicação de biossólido e inoculação em solo contaminado por Cu.

Conclusão

O uso de biossólido teve efeito positivo e significativo no aumento do teor de clorofila em *Canavalia ensiformis* e, consequentemente, no estado nutricional das plantas. Por outro lado, a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* não apresenta efeito significativo sobre o teor de clorifila nas condições avaliadas. Portanto, a aplicação de biossólido se mostra uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho fisiológico da *Canavalia ensiformis* em solo contaminado por Cu.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e a Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

BENIDIRE, Leila et al. Remediation of metal-contaminated mine tailings by the application of organic and mineral amendments. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1-14, 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020b. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 ago. 2020. Seção 1, p. 265 a 269.

ELALAMI, D et al. Effect of coupling alkaline pretreatment and sewage sludge co-digestion on methane production and fertilizer potential of digestate. **Science of The Total Environment**, v. 743, 2020.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose. Viçosa: Arka Editora. 296p. 2011.

HARRIS, Michelle E.; GARDNER, Wendy C.; PYPKER, Thomas. Influence of a one-time biosolids application on elemental and nutrient concentrations on mine tailings. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 101, n. 4, p. 703-716, 2021.

MADLINE, Atika; BENIDIRE, Leila; BOULARBAH, Ali. Alleviation of salinity and metal stress using plant growth-promoting rhizobacteria isolated from semiarid Moroccan copper- mine soils. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 67185-67202, 2021.

PAN, Wei et al. Abscisic acid-generating bacteria can reduce Cd concentration in pakchoi grown in Cd-contaminated soil. Ecotoxicology and environmental safety, v. 177, p. 100 107, 2019.

SANTANA, Pedro Henrique Lopes et al. Jack beans and vetiver grass growth on iron ore tailing sediments from the Doce River dam disaster in Brazil: plant growth regulator effects under different edaphic conditions. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 4103-4110, 2020.

SHARMA, Pallavi et al. Efficient utilization of plant biomass after harvesting the phytoremediator plants. In: **Phytorestoration of abandoned mining and oil drilling sites**. Elsevier, 2021. p. 57-84.

TAMIOZZO, Fernanda. Fitorremediação em associação com o uso de biossólido em solo impactado por rejeito de mineração de cobre. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2023.

VIDIGAL, S. M.; LOPES, I. P. C.; PUIATTI, M.; RIBEIRO, M. R. F.; SEDIYAMA, M. A. N. SPAD index in the diagnosis of nitrogen status in cauliflower as a function of nitrogen fertilization. Científica, v.46, n.3, p.307-314, 2018.

VÍTKOVÁ, Martina et al. Sustainable use of composted sewage sludge: Metal (loid) leaching behaviour and material suitability for application on degraded soils. **Science of The Total Environment**, v. 929, p. 172588, 2024.

ZHOU, Hu et al. Effect of long-term organic amendments on the full-range soil water retention characteristics of a Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v. 202, p. 104663, 2020.

— TRABALHOS COMPLETOS —

TÉCNICAS E ESTUDOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

8º SSS

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E IMPACTOS DO DESMATAMENTO EM MATO GROSSO ENTRE 1985 E 2023: UMA ABORDAGEM POR GEOTECNOLOGIAS

1Gustavo Domingos Sakr Bisinoto, 2Daiana Ferreira Dias, 3Francisco Lledo dos Santos, 4Everton Valdomiro Pedroso Brum, 5Rodrigo Bruno Zanin, 6Ernandes Sobreira Oliveira Junior

1Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: gustavo.bisinoto@unemat.br; 2Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: daiana.dias@unemat.br; 3Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: franciscolledo@unemat.br; 4Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail evpbrum@unemat.br; 5niversidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: rodrigo.zanin@unemat.br; 6Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: ernandes.sobreira@unemat.br;

Palavras-chave: CARBONO NO SOLO; DESMATAMENTO; GEOTECNOLOGIAS;

Resumo

Manter o carbono no solo é fundamental para a fertilidade, retenção hídrica e equilíbrio climático. Contudo, o desmatamento acelera a perda de carbono orgânico do solo (COS), intensificando a erosão e liberando CO_2, o que compromete os serviços ecossistêmicos. Este estudo analisa a dinâmica espaço-temporal do COS em Mato Grosso, entre 1985 e 2023, utilizando dados do MapBiomas Solo v2.0, Google Earth Engine e QGIS. Os resultados revelam um aumento modesto de 0,88% no estoque total, mas com redistribuições preocupantes: expansão de áreas com baixos teores de carbono e redução em faixas intermediárias, indicando degradação edáfica associada à expansão agropecuária. A correlação estatística entre desmatamento e perda de COS ($R^2 = 0,17$) reforça esse impacto, especialmente em solos arenosos do Pantanal e zonas de transição Cerrado-Amazônia. Áreas preservadas, como terras indígenas e unidades de conservação, mostraram-se *hotspots* de carbono, atuando como sumidouros estáveis. O estudo destaca a importância do monitoramento contínuo do COS para embasar políticas de uso sustentável da terra, créditos de carbono e adaptação climática. Recomenda-se o fortalecimento de bancos de dados edafoclimáticos e a criação de um inventário nacional do COS, visando à resiliência dos solos tropicais frente às mudanças ambientais.

Introdução

O carbono orgânico do solo (COS) constitui a maior reserva de carbono terrestre, superando o carbono armazenado na vegetação e na atmosfera (LAL, 2004). Estima-se que os solos concentrem cerca de 1.500 gigatoneladas de carbono nos primeiros 100 cm de profundidade, sendo fundamentais na regulação climática global (BATJES, 2016). O manejo adequado do solo é estratégico para mitigar as mudanças climáticas, sobretudo em regiões tropicais com intensas transformações no uso da terra.

Mato Grosso, por abranger os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, exerce papel central nas dinâmicas de uso da terra no Brasil. O estado registra elevada conversão florestal em áreas agrícolas, o que impacta diretamente os estoques de carbono, tanto na vegetação quanto no solo (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020). Apesar de sua relevância, ainda há lacunas no conhecimento sobre a distribuição do COS em nível estadual, devido à heterogeneidade pedológica e baixa densidade amostral (POGGIO *et al.*, 2021).

Avanços em sensoriamento remoto e plataformas como o MapBiomas Solo v2.0, que utiliza modelos de machine learning aplicados a amostras georreferenciadas, permitem estimativas mais precisas e espacializadas dos estoques de carbono no solo. A análise via Google Earth Engine, associada à produção de mapas temáticos no QGIS, possibilita visualizar padrões espaciais e identificar áreas prioritárias para conservação e restauração (BAENA *et al.*, 2023).

A compreensão da distribuição do COS subsidia políticas de agricultura de baixo carbono, serviços ambientais e adaptação climática. Solos com altos estoques promovem maior fertilidade, retenção hídrica e resiliência ecológica (FAO, 2017). Além disso, programas como a Iniciativa 4p1000 reforçam a importância do solo no combate às mudanças climáticas (MINASNY *et al.*, 2017).

Este estudo visa analisar o potencial de estoque de COS em Mato Grosso, com base em dados da plataforma MapBiomas Solo, processados no Google Earth Engine e visualizados em QGIS. A proposta é identificar padrões espaciais do COS e relacioná-los aos usos da terra, apontando áreas estratégicas para conservação e manejo sustentável dos solos em meio às transformações territoriais do estado.

Metodologia

O estado de Mato Grosso, situado na região Centro-Oeste do Brasil, possui papel estratégico na compreensão da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS), pois abriga três importantes biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado e Pantanal. Cada um apresenta características ecológicas distintas — como clima, textura do solo e regime hidrológico — que influenciam diretamente os processos de acúmulo e perda de carbono. A Amazônia, por exemplo, possui clima equatorial úmido, vegetação densa e solos argilosos, favorecendo elevados estoques de COS em áreas preservadas. O Cerrado, com clima sazonal e diferentes tipos de textura, apresenta níveis intermediários de carbono e maior risco de depleção devido à conversão para agricultura e pecuária. Já o Pantanal, com solos franco-arenosos, é mais sensível às mudanças no uso da terra, apresentando menores estoques de carbono (RAMOS *et al.*, 2023; FONTANA *et al.*, 2024; ARRUDA, 2022).

Essa diversidade faz de Mato Grosso um laboratório natural para investigar padrões espaço-temporais do COS. Entre 1985 e 2020, a conversão da vegetação nativa para uso agropecuário resultou na perda de 44,23% da cobertura nativa na Amazônia e de 26,82% no Cerrado, e em um aumento de 371% nas áreas agrícolas do Pantanal, impactando diretamente os estoques de carbono (RAMOS *et al.*, 2023). A perda de vegetação nativa compromete o sequestro de carbono, especialmente em solos arenosos, como os do Pantanal, que apresentam baixa resiliência frente à antropização.

As variações no COS estão relacionadas a propriedades físicas dos solos e ao uso da terra. Solos com maior teor de argila tendem a apresentar maior capacidade de retenção de carbono, como observado no Cerrado e na Mata Atlântica. No Pantanal, a correlação é negativa devido à textura arenosa dos solos (ARRUDA, 2022; FONTANA *et al.*, 2024). A maior parte do COS está concentrada entre 0–10 cm de profundidade, sendo extremamente sensível à retirada da vegetação e ao revolvimento do solo. Estudos apontam reduções de até 52% do COS em áreas do Cerrado convertidas para agricultura convencional, enquanto práticas como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), irrigação e plantio em nível favorecem a estabilidade do solo e a recomposição do carbono, mesmo que de forma lenta em solos degradados (TANAKA *et al.*, 2025; BENDAVID *et al.*, 2024).

A presença de áreas protegidas, como terras indígenas e unidades de conservação, contribui significativamente para a conservação do COS, uma vez que essas áreas representam aproximadamente 40,5% das florestas do país e preservam práticas sustentáveis de uso da terra. A valorização do conhecimento tradicional é crescente, com destaque para práticas de manejo implementadas por comunidades indígenas e quilombolas (OVIEDO & DOBLAS, 2021). A expansão agropecuária em Mato Grosso entre 1990 e 2020 reduziu as áreas de florestas e pastagens, alterando significativamente os estoques de carbono. SANTOS *et al.* (2024) demonstram que, apesar de um leve crescimento do COS em 2020 (média de 147,34 Mg ha^{-1}), a recuperação depende diretamente do manejo adotado.

A base MapBiomas Solo v.2.0 foi utilizada para estimar o COS em Mato Grosso entre 1985 e 2023. Essa base oferece dados sobre uso da terra, textura, profundidade e densidade aparente dos solos, permitindo uma análise espacial e temporal da dinâmica do carbono (FONTANA *et al.*, 2024; NWAOGU *et al.*, 2024). Os dados foram processados no Google Earth Engine (GEE) por meio de scripts automatizados que calculam o COS com base na equação que considera profundidade, densidade aparente e teor de carbono (BAENA *et al.*, 2023). Os resultados foram agregados no QGIS, com a geração de mapas temáticos por bioma, classe de solo, relevo, unidades de conservação e uso da terra, permitindo a identificação de padrões espaço-temporais e hotspots de conservação (NWAOGU *et al.*, 2024).

A validação cartográfica foi feita com métricas de precisão como índice kappa e acurácia global. Para reduzir incertezas, parâmetros regionais de solos foram aplicados, baseados em mais de 4 mil amostras em Mato Grosso, com correlação de 0,46 entre argila e COS até 40 cm (FONTANA *et al.*, 2024). MARTINS *et al.* (2020) apontam que o uso da terra influencia diretamente o estoque de carbono, com maiores estoques em sistemas agroflorestais, seguidos por florestas, pastagens e lavouras. OLIVEIRA *et al.* (2022) observaram tendência de aumento do COS em diferentes sistemas, com exceção de pastagens irrigadas. O cruzamento entre uso da terra e desmatamento permitiu identificar áreas críticas para manejo e conservação.

A metodologia integrada apresentou maior resolução espaço-temporal, permitindo simulações preditivas e retrospectivas com maior confiabilidade. Embora eficaz, recomenda-se validação em campo para reduzir incertezas em regiões com alta heterogeneidade ambiental, como o Pantanal e a transição Cerrado-Amazônia (ROSSI, 2023; ROCHA, 2022).

Resultados

Entre 1985 e 2023, o estoque total de carbono orgânico no solo em Mato Grosso apresentou uma variação positiva de 0,88%, passando de aproximadamente 176.935.617 toneladas em 1985 para 178.494.104 toneladas em 2023 (Figura 01).

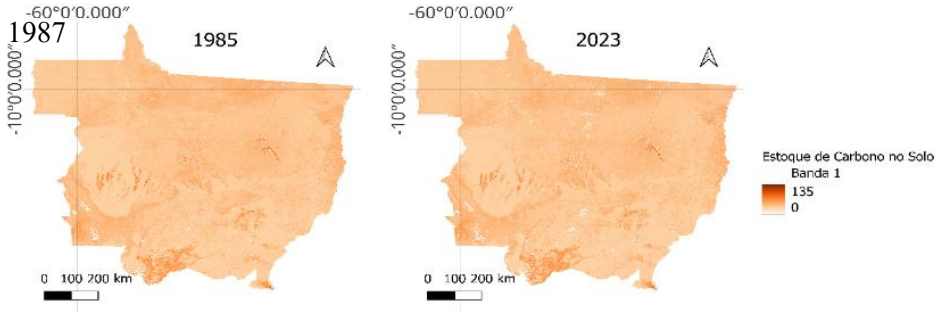


Figura 01. Estoque de carbono no solo (t/ha) nos anos 1985 e 2023 no estado de Mato Grosso
Fonte: MapBiomas coleção 2.0 (beta)

Apesar da relativa estabilidade, quando se olha para o estado como um todo, observou-se uma leve tendência de crescimento ao longo das décadas, culminando em um pico em 2021, com um total de 178.716.782 toneladas. O menor valor da série corresponde ao próprio ano inicial da série, 1985, evidenciando que, embora o crescimento tenha sido modesto, houve um acréscimo contínuo em parte do período analisado. A taxa média anual de acréscimo foi de cerca de 41.013 toneladas por ano (Figura 02).

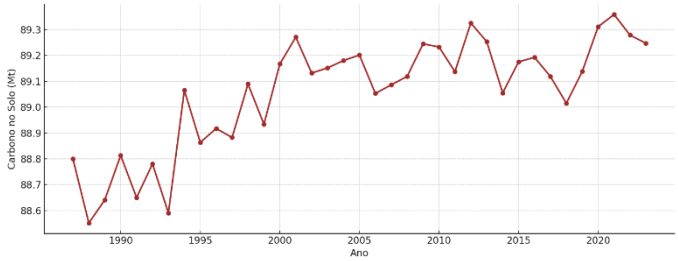


Figura 02. Tendencia do estoque de carbono no solo em Mato Grosso entre 1985 e 2023
Fonte: MapBiomas coleção 2.0 (beta)

A distribuição proporcional média do estoque de carbono no solo em Mato Grosso entre 1987 e 2023 revela forte concentração em duas faixas principais: a classe "30 a 40 t/ha", com média de 49,2% do estoque total, e a classe "40 a 50 t/ha", que representa 42,9%. Juntas, essas faixas concentram mais de 92% do carbono orgânico do solo no estado. A classe "0 a 10 t/ha", por sua vez, apresenta uma média de menor que 1%. Já as classes mais elevadas, como "50 a 60 t/ha" e "60 a 70 t/ha", representam respectivamente 5,7% e 1,9% do total, enquanto as faixas superiores ("70 a 80 t/ha" e "> 80 t/ha") são residuais, juntas somando menos de 0,3% do estoque. As faixas "10 a 20 t/ha" e "20 a 30 t/ha" praticamente não aparecem na composição, indicando baixa ocorrência ou possível subestimativa nas bases utilizadas.

A distribuição temporal do estoque de carbono no solo em Mato Grosso, desagregada por classes de densidade (t/ha), revela padrões distintos que refletem os processos de degradação, manejo e uso da terra ao longo das últimas décadas, conforme Figura 03. A classe "0 a 10 t/ha" apresenta uma tendência fortemente ascendente, com crescimento contínuo desde 1987 e aumento de aproximadamente 150% no período, indicando a expansão de áreas degradadas ou empobrecidas em carbono.

Em contraste, a classe "30 a 40 t/ha", que representa uma relevante de carbono, exibe queda gradual, passando de 43,85 milhões (em 1988) para 43,7 milhões de toneladas, sugerindo a perda de solos moderadamente ricos em carbono. Tendência semelhante é observada na classe "20 a 30 t/ha", cujo estoque diminuiu de forma acentuada até o ano de 2014, com perdas percentuais expressivas, ainda que em volume absoluto pequeno (por representar uma fração menos expressiva do total).

As classes "40 a 50 t/ha" e "50 a 60 t/ha" revelam comportamento mais resiliente: após pequenas quedas nos anos iniciais da série, apresentaram recuperação consistente, alcançando estoques em 2023 comparáveis ou superiores aos do início da série histórica — o que sugere a permanência de solos produtivos com capacidade de retenção de carbono em determinadas regiões. Já as classes superiores - "60 a 70 t/ha", "70 a 80 t/ha" e "> 80 t/ha" — mantiveram-se relativamente estáveis, com oscilações modestas ao longo do tempo.

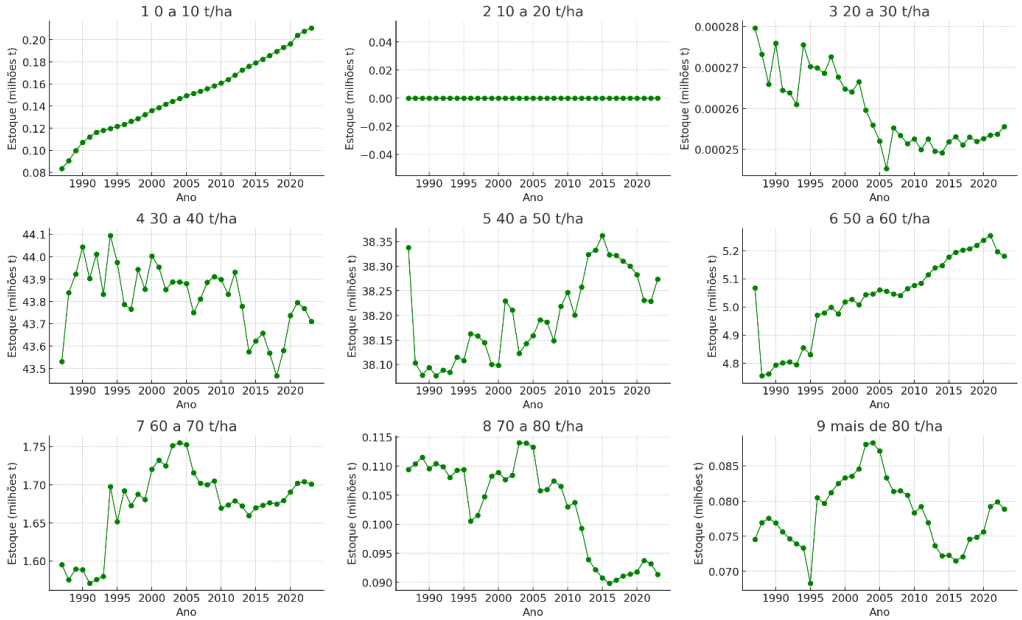


Figura 03. Tendência do estoque de carbono no solo em Mato Grosso de 1987 a 2023 de acordo com as classes.
Fonte: MapBiomas Coleção 2.0 (beta)

Entre 1987 e 2023, Mato Grosso registrou um acumulado de aproximadamente 11,7 milhões de hectares desmatados, com variações anuais expressivas. O pico ocorreu em 2004, quando foram suprimidos cerca de 1,37 milhão de hectares de vegetação nativa, representando mais de 11% do desmatamento total do período. Houve uma queda acentuada até 2010 tendendo a se estabilizar nos anos seguintes. No entanto, a partir de 2019, a área desmatada voltou a crescer, alcançando 485 mil hectares em 2022 — um aumento de mais de 119% em relação a 2012 (Figura 04).

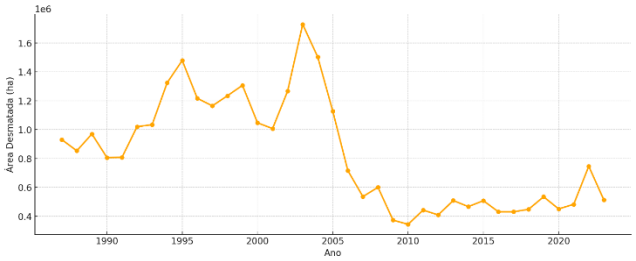


Figura 04. Desmatamento anual em Mato Grosso de 1987 a 2023.
Fonte: MapBiomas Coleção 2.0

A análise da relação entre o desmatamento anual e o estoque total de carbono orgânico no solo (COS) em Mato Grosso, no período de 1987 a 2023, revelou uma correlação negativa moderada e estatisticamente significativa (Spearman R = –0,41; *p* = 0,012; Figura 05). Esse padrão indica que anos com maior área desmatada tendem a estar associados a menores estoques de carbono no solo, sugerindo uma influência direta da supressão da vegetação sobre a estabilidade do COS. A regressão linear demonstrou uma tendência de declínio do estoque de carbono conforme aumentam os valores anuais de desmatamento, com um intervalo de confiança de 95% que reforça a consistência da relação observada.

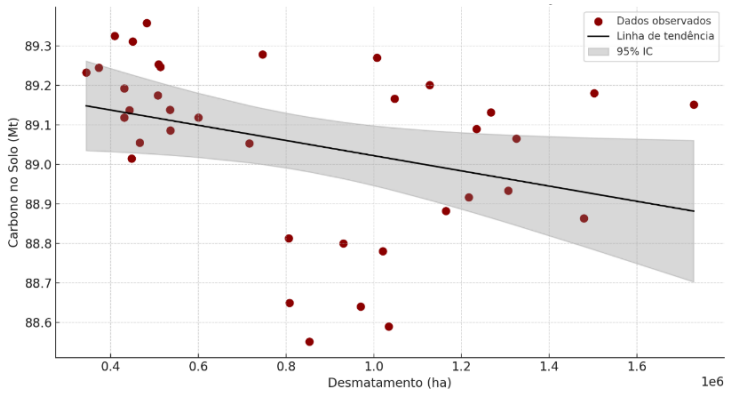


Figura 05. Relação entre o desmatamento e o estoque de carbono no solo em Mato Grosso de 1987 a 2023.
Fonte: MapBiomas Coleção 2.0

A análise da relação entre o desmatamento anual e o estoque de carbono no solo em Mato Grosso (1987–2023), desagregada por classes de densidade (t/ha), revelou padrões estatisticamente significativos em sete das nove classes analisadas, com magnitudes de associação distintas (Figura 06). A classe "70 a 80 t/ha" apresentou a maior correlação com o desmatamento, com $R^2 = 0,47$ ($p < 0,001$), indicando que 47% da variação nesta faixa altamente rica em carbono pode ser explicada pela variação no desmatamento. Em seguida, destacam-se as classes "40 a 50 t/ha" ($R^2 = 0,42$; $p < 0,001$) e "20 a 30 t/ha" ($R^2 = 0,40$; $p < 0,001$), reforçando que mesmo os estoques intermediários e elevados de carbono no solo são sensíveis à pressão antrópica exercida pela conversão da vegetação nativa.

A classe "0 a 10 t/ha", representando solos degradados ou com baixa fertilidade, apresentou $R^2 = 0,36$ ($p < 0,001$), demonstrando que o aumento do desmatamento contribui diretamente para o crescimento dessa faixa de estoque — possivelmente por empobrecimento da matéria orgânica e exposição do solo. A classe "50 a 60 t/ha" também revelou associação significativa ($R^2 = 0,30$; $p < 0,001$), assim como a faixa "30 a 40 t/ha" ($R^2 = 0,22$; $p = 0,003$), evidenciando a vulnerabilidade até mesmo de solos relativamente estáveis frente ao avanço do desmatamento.

A classe "> 80 t/ha" mostrou uma correlação mais modesta, porém ainda significativa ($R^2 = 0,16$; $p = 0,013$), sugerindo que mesmo os estoques mais altos — geralmente restritos a ambientes preservados — podem ser impactados pela fragmentação da paisagem. Por outro lado, a classe "60 a 70 t/ha" não apresentou correlação estatisticamente significativa ($R^2 = 0,02$; $p = 0,44$), o que pode ser atribuído à baixa variabilidade ou à sua distribuição mais restrita a áreas específicas. Já a classe "10 a 20 t/ha" não pôde ser avaliada devido à ausência de dados válidos para regressão. Esses resultados revelam que o desmatamento em Mato Grosso tem repercussões diretas sobre diferentes faixas de carbono no solo, desde as mais empobrecidas até as mais ricas, exigindo atenção especial a políticas de uso da terra que levem em conta a resiliência e a vulnerabilidade dos estoques edáficos.

Com base na Figura 06 é possível fazer a identificação de *hotspots* de estoque de carbono e de áreas de risco (baixo estoque com uso intensivo), que mostram relações entre desmatamento (ha/ano) e estoque de carbono (t) para diferentes classes de biomassa (em t/ha). Para além da análise numérica, a visualização espacial do desmatamento acumulado (1987 e 2023) e dos estoques de carbono em 2023 permite entender com mais nitidez os padrões territoriais dessa relação.

A Figura 07 mostra a expansão do desmatamento em quase todo o estado, com concentração nas regiões de transição Amazônia-Cerrado e na borda do Pantanal, áreas conhecidas por solos mais arenosos e vulneráveis e também, evidencia que essas mesmas regiões coincidem com os menores estoques de carbono no solo, indicando uma sobreposição entre pressão

antrópica e fragilidade edáfica. Essa distribuição espacial reforça os dados estatísticos e sugere a existência de zonas críticas onde a política ambiental deve atuar de forma prioritária.

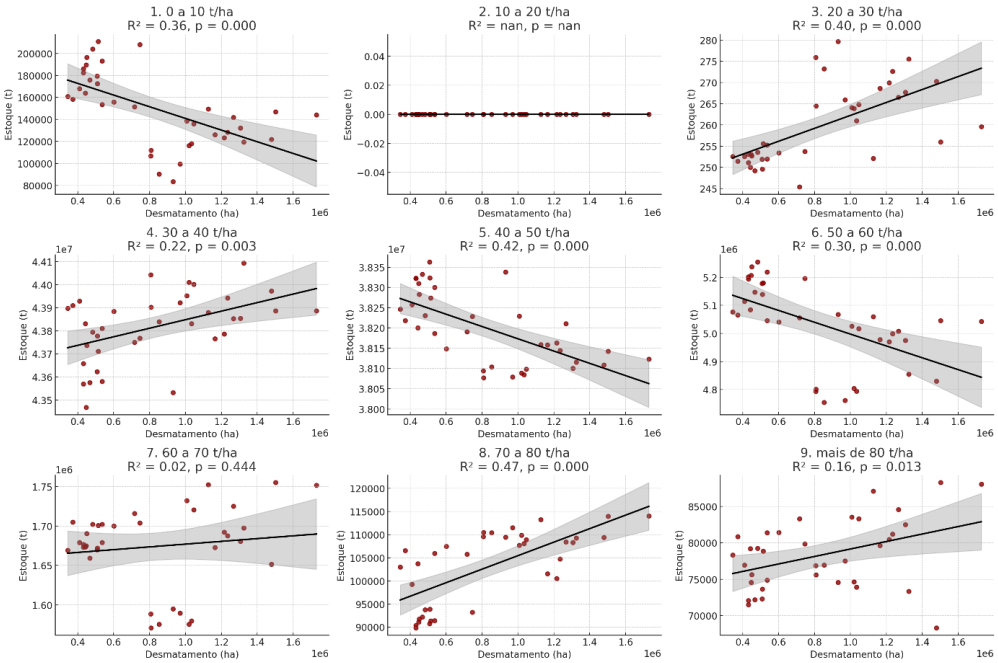


Figura 06. Relação entre o desmatamento e o estoque de carbono no solo entre 1987 e 2023 por classes MapBiomas Coleção 2.0

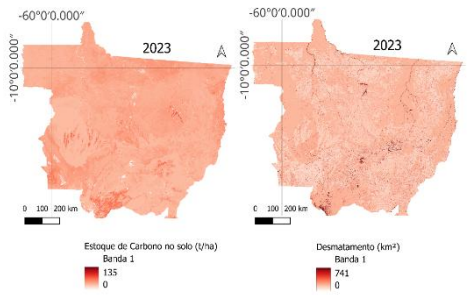


Figura 07. Relação entre Estoque de Carbono no Solo (esquerda) e o Desmatamento entre 1985 e 2023 (direita) MapBiomas Coleção 2.0 (beta)

Discussões

As discussões sobre o carbono orgânico do solo (COS) em Mato Grosso apontam que a conversão de áreas nativas para fins agrícolas gerou perdas expressivas de carbono, principalmente nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal. O aumento de 78,52% nas terras aráveis entre 1985 e 2023 avançou sobre áreas de alto estoque de COS, resultando em sua depleção acentuada (NWAOGU *et al.*, 2024; FIGUEIREDO GRANJA DORILÃO LEITE *et al.*, 2025). As perdas podem chegar a 52% do estoque original, principalmente pela retirada da biomassa e mineralização acelerada da matéria orgânica (MINASNY *et al.*, 2017). Embora sistemas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) tenham contribuído para certa recuperação localizada, a escala e o impacto dessas ações ainda são limitados.

Manejo intensificado de pastagens degradadas, com aumento da lotação animal e práticas mais adequadas, tem promovido incremento gradual do COS. Na região sudeste de Mato Grosso, entre 2012 e 2021, houve aumento de 0,8% nos estoques totais de carbono (MACEDO *et al.*, 2025). Contudo, a recuperação histórica demanda ampliação do uso de tecnologias conservacionistas e suporte técnico estruturado. A fragmentação dos *hotspots* de carbono agrava a vulnerabilidade do Pantanal, onde a expansão agrícola (371%) impactou fortemente solos franco-arenosos mais suscetíveis à erosão e mineralização (FONTANA *et al.*, 2024; RAMOS *et al.*, 2023).

As práticas conservacionistas, como plantio direto, rotação de culturas, adubação verde e ILPF, mostram resultados positivos. Há ganhos como aumento de 11% na produtividade da soja e incremento na lotação de rebanhos no sudeste do estado (MACEDO *et al.*, 2025), mas sua implementação em larga escala enfrenta barreiras estruturais, como custo elevado, assistência técnica limitada e resistência sociocultural (NWAOGU *et al.*, 2024; FIGUEIREDO GRANJA DORILÃO LEITE *et al.*, 2025).

Mesmo sistemas bem geridos não recuperam os estoques equivalentes aos de áreas nativas (AMOAKWAH *et al.*, 2022; VELDKAMP *et al.*, 2020). A manutenção de fragmentos florestais é estratégica, sobretudo na Amazônia, onde a resiliência ecológica está atrelada à integridade florestal (RAMOS *et al.*, 2023; DE SY *et al.*, 2019).

A Lei nº 15.042/2024, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões, oferece oportunidade para integrar conservação de solos aos instrumentos de mercado. Contudo, sua eficácia depende da ampliação do acesso ao crédito por pequenos produtores e da articulação federativa multiescalar.

Os gráficos da Figura 06 não indicam necessariamente que o desmatamento causa o aumento ou a redução do carbono no solo. O que eles mostram é a relação espacial ou associativa entre áreas desmatadas e o estoque de carbono existente nessas áreas entre 1987 e 2023.

Territórios indígenas, reservas extrativistas e áreas de preservação permanente continuam sendo os principais estoques de COS, protegidos pelo manejo sustentável das populações tradicionais (RAMOS *et al.*, 2023; OVIEDO & DOBLAS, 2021; OLORUNFEMI *et al.*, 2022). A conservação ativa desses espaços é vital para mitigar as perdas de carbono e promover justiça ambiental. Por fim, a integração entre dados de sensoriamento remoto (MapBiomas Solo, Google Earth Engine, SoilGrids) e atributos edafoclimáticos tem aprimorado o monitoramento do COS, embora ainda dependa de validação em campo e maior robustez algorítmica (BATJES, 2016; POGGIO *et al.*, 2021; FONTANA *et al.*, 2024). A criação de uma rede nacional integrada de monitoramento é urgente para embasar políticas públicas adaptadas às especificidades do solo tropical brasileiro (ROSSI, 2023).

Conclusões

Este estudo analisou a dinâmica e o potencial de estoque de carbono orgânico do solo (COS) em Mato Grosso, entre 1985 e 2023, considerando as relações entre desmatamento, uso da terra e variabilidade edáfica nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal. A pesquisa utilizou geotecnologias, análise multitemporal, dados espaciais e bases públicas para mapear, de forma inédita, os gradientes de carbono do solo conforme diferentes formas de ocupação do território.

Os resultados indicam que a distribuição do desmatamento no estado de Mato Grosso entre 1987 e 2023 ocorreu de forma desigual entre as classes de estoque de carbono no solo. Em determinadas classes (como 20 a 30 t/ha e 40 a 50 t/ha), observou-se uma relação positiva significativa entre o desmatamento e os estoques, indicando que áreas com maior concentração de carbono foram preferencialmente desmatadas. Já em outras classes (como 1 a 10 t/ha e 50 a 60 t/ha), nota-se uma correlação negativa, sugerindo que o desmatamento se deu em áreas com menor acúmulo de carbono no solo. Essa análise não implica que o desmatamento aumentou ou reduziu o estoque de carbono diretamente, mas evidencia onde o carbono está concentrado e como essas áreas foram afetadas pelo avanço do desmatamento. Ressalta-se que, caso o desmatamento atinja áreas de alta densidade de carbono, há maior potencial de emissões de GEE, reforçando a importância de proteção dessas zonas, em especial, os solos arenosos do Pantanal se mostraram mais vulneráveis à erosão e à perda de matéria orgânica. O uso de ferramentas como o MapBiomas Solo e o Google Earth Engine possibilitou o rastreamento preciso dessas perdas, além da identificação de áreas prioritárias para conservação.

Práticas conservacionistas, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), apresentaram algum potencial para estabilizar ou recuperar parcialmente o estoque de carbono, embora sua adoção em larga escala ainda enfrente desafios técnicos, econômicos e culturais. As terras indígenas e unidades de conservação, por sua vez, se destacaram como zonas estratégicas para a manutenção de altos estoques de COS, reforçando a necessidade de protegê-las e valorizá-las em políticas públicas.

O estudo também evidencia que as variáveis edáficas e climáticas, somadas ao manejo inadequado, dificultam a generalização dos resultados para todo o estado. Ainda assim, a metodologia adotada se mostrou eficaz para indicar tendências, riscos e oportunidades de manejo sustentável. Futuras pesquisas devem incluir validações em campo, principalmente nas zonas de transição entre biomas, onde há alta variabilidade de solo.

Recomenda-se a criação de uma base nacional de monitoramento do carbono do solo, integrada aos sistemas globais, e o fortalecimento de políticas de incentivo à conservação. Este trabalho demonstra que o carbono do solo tropical deve ser reconhecido como patrimônio ambiental estratégico para a segurança alimentar e climática, subsidiando ações concretas frente às mudanças no uso da terra e aos efeitos das mudanças climáticas.

Referências Bibliográficas

Amoakwah, E., Lucas, S. T., Didenko, N. A., Rahman, M. A., & Islam, K. R. (2022). **Impact of deforestation and temporal land-use change on soil organic carbon storage, quality, and lability**. PLoS ONE, 17(8), e0263205. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263205

Arruda, F. D. S. (2022). **Estimativa do Estoque de Carbono em Solos do Bioma Pantanal Sob Diferentes Tipos de Uso no Município de Cáceres - Mato Grosso, Brasil** [Dissertação de mestrado, Universidade do Estado de Mato Grosso]. Universidade do Estado de Mato Grosso. Disponível em: https://encr.pw/QWsU3

Baena, S., Arnell, A., Dixon, A., Critchley, M., Tripathi, H., Ravilious, C., Beher, J., & Lewis, M. (2023). **Remote sensing for monitoring impacts of land-use change on biodiversity and carbon stocks**. United Nations Environment Programme. Disponível em: https://pure.iiasa.ac.at/18924/1/202301_SPACES-Remote-Sensing-1.pdf

Batjes, N. H. (2016). **Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks**. Geoderma, 269, 61-68. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.034

Bendavid, N., Maracahipes-Santos, L., Popin, G., Jacobs, S., Bradford, M., Trumbore, S., Macedo, M., Neill, C., & Brando, P. M. (2024). **Evaluating conservation agriculture impacts on carbon dynamics at a southern Amazonian cropland: insights from soil sampling and flux towers in cropland and adjacent forest**. AGU Fall Meeting Abstracts. Disponível em: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024AGUFMB31M..145B/abstract

De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Avitabile, V., Baccini, A., Carter, S., et al. (2019). **Tropical deforestation drivers and associated carbon emission factors derived from remote sensing data. Environmental Research Letters**. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3dc6

Fao (2017). **Soil Organic Carbon: the hidden potential.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: https://www.fao.org/documents/card/en/c/6b9dba50-4d5f-45dc-8ab1-92b3f9f9f43b

Figueiredo Granja Dorilão Leite, F., Fontana, A., Nuto Nóbrega, G., Martini Santos, et al (2025). **Land use change effect on organic matter dynamics and soil carbon sequestration in the Brazilian Cerrado: A study case in Mato Grosso do Sul state (Midwest-Brazil).** CATENA, 249, 108670. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108670

Fontana, A., Vivian, A. M., Arco, M. A. de L., Menezes, et al (2024). **Níveis de referência do carbono orgânico no solo sob vegetação natural dos biomas brasileiros.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 059. Embrapa. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1169042/1/Niveis-referencia-carbono-organico-2024.pdf

Lal, R. (2004). **Soil carbon sequestration to mitigate climate change.** Geoderma, 123(1–2), 1–22. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Macedo, L. O. B., Costa, M. A. da, Oliveira, I. L. de, & Sturza, J. A. I. (2025). **Intensificação das práticas agropecuárias e impactos no sequestro de carbono no solo na região sudeste de Mato Grosso**. Revista Tocantinense de Geografia, 14(33), 59-60. Disponível em: https://periodicos.ufnt.edu.br/index.php/geografia/article/download/19460/22641/86490

Martins, L. F. B. N., Troian, D., Rosset, J. S., Souza, C. B. S., Farias, P. G. S., Ozório, J. M. B., Marra, L. M., & Castilho, S. C. P. (2020). **Soil carbon stock in different uses in the southern cone of Mato Grosso do Sul.** Revista de Agricultura Neotropical, 7(4), 86-94. Disponível em: https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/viewFile/5351/3801

Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, et al (2017). **Soil carbon 4 per mille.** Geoderma, 292, 59-86. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002

Nwaogu, C., Diagi, B. E., Ekweogu, C. V., Ajeyomi, A. S., Ejiogu, C. C., Emereibeole, et al. (2024). **Soil organic carbon stocks as driven by land use in Mato Grosso State: the Brazilian Cerrado agricultural frontier**. Discover Sustainability, 5(382), 1–21. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s43621-024-00592-w

Oliveira, J. M., Gollany, H. T., Polumsky, R. W., Madari, B. E., Leite, L. F. C., Machado, P. L. O. A., & Carvalho, M. T. M. (2022). **Predicting soil organic carbon dynamics of integrated crop-livestock system in Brazil using the CQESTR model**. Frontiers in Environmental Science, 10, 826786. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.826786/pdf

Olorunfemi, I.E., Olufayo, A.A., Fasinmirin, J.T. *et al.* **Dynamics of land use land cover and its impact on carbon stocks in Sub-Saharan Africa: an overview**. Environ Dev Sustain 24, 40–76 (2022). https://doi.org/10.1007/s10668-021-01484-z

Oviedo, A. F. P., & Doblas, J. (2021). **As florestas precisam das pessoas. Povos tradicionais e biodiversidade no Brasil: contribuições dos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais para a biodiversidade, políticas e ameaças**, 7, 1-18. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/m9d00064.pdf

Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021**). SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty**. SOIL, 7, 217-240. Disponível em: https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021

Ramos, A., Azevedo, Ú., Xavier, F., Neves, S., & Galvanin, D. (2023). **Deforestation Patterns in the Amazon, Cerrado and Pantanal Biomes in the Upper Paraguay River Basin, Mato Grosso - Brazil**. Rev. Geogr. Acadêmica, 17(2), 136-158. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/76281/2/padr%c3%95es%20de%20desmatamento%20nos%20biomas.pdfa.pdf

Rocha, A. M. d. (2022). **EMISSÃO DE CO2 ASSOCIADA A ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO AMAZÔNICA, MATO GROSSO – BRASIL** [Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal]. Jaboticabal. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstreams/8fa5d82b-0c39-4061-951c-67cf08907b5b/download

Rossi, F. S. (2023). **Carbon Dioxide Dynamics Through Orbital And Terrestrial Measurements On Amazonian Crop And Forest Lands** (Tese de doutorado, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP, Jaboticabal). Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstreams/176ce136-5831-4c49-9cd6-2de1159d6f04/download

Santos, S. C. dos, Brito, H. C. de, Rufino, I. A. A., & Maia, S. M. F. (2024). **Changes in soil organic carbon stocks due to land use changes in the extended São Francisco River Basin**. Sociedade & Natureza, 36, 1–13. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sn/a/xcmpQJKkRJRCJfhXDNkKdjP/?format=pdf&lang=en

Silva Junior, C. H. L., *et al.* (2021). **The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade**. Nature Ecology & Evolution, 5(2), 144–145. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41559-020-01368-x

Tanaka, R. T., Weber, O. L. dos S., Torres, G. N., Miranda, J. G. de, & Couto, E. G. (2025). **Soil aggregation and organic carbon under different management systems in the cerrado of Mato Grosso.** Caatinga, 38, e12508. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252025v3812508rc

Veldkamp, E., Schmidt, M., Powers, J. S., & Corre, M. D. (2020). **Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics.** Nature Reviews Earth & Environment, 1, 590–605. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0091-5.

— TRABALHOS COMPLETOS —

Tecnologias Ambientais em Startups

8º SSS

MAPEAMENTO DE STARTUPS DO BRASIL NO SEGMENTO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

1Alessandro Costa Ribeiro, 2Francisco Lledo dos Santos, 3Raphael Monteiro Pires
1UNEMAT, e-mail: ribeiro@unemat.br; 2UNEMAT, e-mail: franciscolledo@unemat.br;
3UNEMAT, e-mail: raphael.pires@gmail.com

Palavras-chave: Startups; Tecnologias Ambientais; Inovação sustentável; Ecossistema de inovação.

Resumo

Este estudo apresenta um mapeamento das startups brasileiras atuantes no segmento de Tecnologias Ambientais, com ênfase na identificação de setores de destaque e na distribuição geográfica dessas empresas. A pesquisa é de abordagem quantitativa, baseada na coleta de dados secundários provenientes de plataformas de inovação, bases de dados públicas e privadas, além de relatórios setoriais. Utilizou-se análise multivariada, incluindo técnicas de agrupamento, para classificar as startups de acordo com seus segmentos de atuação e potencial impacto ambiental. Os resultados indicam que os segmentos de maior concentração de startups são Agritech, com 121 empresas, e Indtech, com 73, seguidos por Greentech, com 70 startups, reforçando o crescimento de soluções sustentáveis na cadeia produtiva do agronegócio, indústria e meio ambiente. A análise espacial revelou maior concentração na região Sudeste, especialmente em São Paulo, com 146 startups, evidenciando polos de inovação mais desenvolvidos. Os resultados demonstram que o ecossistema de inovação ambiental no Brasil ainda apresenta desafios de expansão em regiões periféricas, demandando políticas públicas direcionadas para fomentar o crescimento de startups ambientais em outras regiões. A diversificação dos segmentos analisados indica a maturidade crescente do setor de Tecnologias Ambientais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país e para a transição para uma economia de baixo carbono. Assim, este mapeamento fornece subsídios importantes para investidores, formuladores de políticas e pesquisadores interessados no potencial inovador do setor de tecnologias sustentáveis no Brasil.

Introdução

Startups emergem como agentes transformadores, oferecendo soluções inovadoras para complexos desafios sociais e ambientais (OLIVEIRA; BEUREN, 2021). A agilidade, flexibilidade e foco em tecnologia de ponta as tornam particularmente adequadas para desenvolver e implementar soluções no âmbito das tecnologias ambientais (LANA; PIMENTA, 2021). O mapeamento de startups que atuam na interseção de inovação e tecnologias ambientais no contexto brasileiro revela um ecossistema dinâmico e em expansão, impulsionado pela crescente demanda por soluções sustentáveis e pela disponibilidade de recursos e investimentos direcionados a esse setor.

A inovação aberta desempenha um papel crucial nesse cenário, permitindo que essas empresas acessem conhecimento externo e acelerem o desenvolvimento de suas tecnologias (VIEIRA et al., 2015). O estudo das características técnicas e legais para a constituição de startups, bem como a identificação de processos de aceleração, incubação e ecossistemas empreendedores, são fundamentais para compreender o ambiente em que essas empresas operam (LANA; PIMENTA, 2021). As estratégias internacionais de incubação de negócios, observadas em países como os EUA, Alemanha e Rússia, podem fornecer insights valiosos para o processo de lançamento e desenvolvimento de startups no Brasil, considerando as particularidades do mercado local (TSAPLIN; POZDEEVA, 2017).

O Brasil, com sua vasta biodiversidade e recursos naturais, apresenta um terreno fértil para o desenvolvimento de startups voltadas para tecnologias ambientais. Essas empresas estão concentradas em áreas como gestão de resíduos, energias renováveis, agricultura sustentável, monitoramento ambiental e tratamento de água e esgoto. A Economia do Aprendizado, que valoriza a interação entre agentes para a obtenção de novos conhecimentos e tecnologias, impulsiona a inovação e a competitividade das empresas e regiões, sendo um contexto favorável para o surgimento e crescimento de startups ambientais (SOBRINHO; GONÇALVES, 2011). A análise comparativa dos ecossistemas de startups na Argentina e no Chile pode oferecer soluções para os obstáculos legislativos e culturais enfrentados pelas startups no Brasil (ANUNCIAÇÃO; FERNANDES, 2021). A inovação sustentável, que busca integrar as dimensões econômica, social e ambiental no desenvolvimento de produtos e serviços, é um princípio fundamental para as startups que atuam nesse setor. A preocupação em abordar as três dimensões do triple bottom line - econômica, social e ambiental - no desenvolvimento de produtos e serviços é notável nessas empresas (FAVARIN et al., 2020). Além disso, a criação de mecanismos de promoção da inovação tecnológica nas empresas, como financiamentos reembolsáveis, não reembolsáveis e incentivos fiscais, fortalece a indústria nacional e garante sua competitividade (BUENO; TORKOMIAN, 2015).

Neste cenário as tecnologias de big data e inteligência artificial emergem como ferramentas poderosas para impulsionar a inovação e a eficiência no setor de tecnologias ambientais. A capacidade de coletar, processar e analisar grandes volumes de dados permite que as startups identifiquem padrões, tendências e oportunidades que seriam impossíveis de detectar por meio de métodos tradicionais. Essas tecnologias também podem ser aplicadas no desenvolvimento de novos materiais e produtos mais sustentáveis, na criação de modelos de negócios inovadores e na promoção da conscientização e engajamento da sociedade em relação às questões ambientais.

Esta pesquisa tem por objetivo mapear as startups brasileiras onde a correlação é forte com Tecnologias Ambientais identificando os segmentos de atuação. Para isso, será realizada uma análise abrangente do ecossistema de startups o Brasil,

combinando dados de fontes primárias e secundárias, como análise de websites e redes sociais das startups e levantamento de dados em bases de dados e plataformas de inovação. Espera-se que este mapeamento forneça informações valiosas para investidores, formuladores de políticas públicas, empreendedores e pesquisadores interessados no desenvolvimento de tecnologias ambientais no Brasil.

Revisão da Literatura

Startups

As startups são organizações emergentes que buscam um modelo de negócios escalável e repetível, muitas vezes impulsionadas pela inovação tecnológica (NISHANT; KENNEDY; CORBETT, 2020). Elas se destacam pela agilidade, flexibilidade e capacidade de adaptação rápida às mudanças do mercado, tornando-se importantes motores de inovação em diversos setores (BESSEN et al., 2020). O ecossistema de startups tem crescido exponencialmente no Brasil, impulsionado por investimentos, programas de aceleração e um ambiente regulatório mais favorável. Este crescimento, contudo, esbarra na escassez de profissionais qualificados em áreas cruciais como tecnologia, ciência, engenharia e matemática, o que representa um gargalo para o avanço tecnológico e a competitividade do país. A atração e retenção de talentos especializados, especialmente aqueles com experiência em desenvolvimento de software, é um desafio constante, dada a alta demanda e a competição acirrada por profissionais qualificados.

A análise do cenário de startups no Brasil revela uma concentração nas áreas de tecnologia da informação, comércio eletrônico e serviços financeiros, com um crescente interesse em setores como agronegócio, saúde e energia limpa. A transformação digital, impulsionada pela pandemia de COVID-19, acelerou a adoção de tecnologias como inteligência artificial, big data, internet das coisas e blockchain, abrindo novas oportunidades para startups que oferecem soluções inovadoras para os desafios da sociedade. No entanto, a jornada de uma startup não é isenta de obstáculos, e a taxa de mortalidade ainda é alta, especialmente nos primeiros anos de vida. Fatores como a falta de planejamento estratégico, a gestão inadequada de recursos financeiros, a dificuldade em escalar o negócio e a falta de conhecimento do mercado são apontados como as principais causas de falhas. Em julho de 2018, o Brasil tinha aproximadamente 62 mil empreendedores e 6 mil startups (PAES et al., 2020). O número de startups no Brasil aumentou 5 vezes entre 2012 e 2020 (“Número de startups no Brasil aumentou 5X entre 2012 e 2020,” 2020). O Brasil é o país da América Latina com o maior número de startups abertas e ativas (“Brasil é o país da América Latina com maior número de startups abertas e ativas, afirma estudo,” 2023).

Apesar dos desafios, as startups têm um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social do país, gerando empregos, renda e inovação. Apesar do crescimento notável, o pleno potencial do empreendedorismo como força motriz do desenvolvimento socioeconômico brasileiro ainda não foi totalmente explorado, demandando políticas públicas e iniciativas privadas que fomentem um ambiente de negócios mais favorável à inovação e ao crescimento sustentável. É crucial que o país avance na criação de um ambiente de negócios mais favorável, com políticas públicas que incentivem o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a formação de capital humano qualificado e a simplificação da burocracia. Além disso, a cultura empreendedora precisa ser fortalecida, com o incentivo à criação de novas empresas e o apoio aos empreendedores que buscam inovar e transformar o mundo (DIAS; MARTENS; LACERDA, 2021; FATEMA; MAHBUBUL; SAEF, 2020).

As Startup se enquadram nos seguintes segmentos encontrados na literatura: Edtech (Educação), Fintech (Finanças), Tech (Desenvolvimento de Software), Healthtech e Life Science (Saúde e Bem-estar), Retailtech (Varejo), HRTech (Recursos Humanos), Martech (Marketing), Agtech (Agronegócio), Logtech (Logística), Indtech (Indústria), Greentech (Meio ambiente e Sustentabilidade), Foodtech (Alimentação), Socialtech (Impacto Social), Construtech (Construção Civil),Salestech (Vendas), Proptech (Imobiliário), Gestão de Negócios e Projetos, Turistech (Turismo), Lawtech (Direito), Energytech (Energia), Biotech (Biotecnologia), Govtech (Gestão pública), Sportstech (Esporte), Cleantech (Tecnologia limpa), Cybersecurity (Segurança e defesa), Autotech (Setor automotivo), Adtech (Advertising), Eventstech (Evento), Funtech (Entretenimento), Insurtech (Seguro), MVNO (Tic e Telecom), Fashiontech (Moda), Pettech (Animal), Comunicação, Regtech (Compliance), Smart City, Mobitech (Mobilidade), Deeptech (Pesquisa Científica), Gametech (Game), Agetech (Saúde e Bem-estar da pessoa idosa), Beautytech (Beleza), Condotech (Condomínio), Mineração, Nanotech (Nanotecnologia), Babytech (Setor infantil), Robotech (Robótica), Óleo e Gás, Supply Chain.

Tecnologias Ambientais

O empreendedorismo verde, também conhecido como ecopreneurismo ou empreendedorismo sustentável, emerge como um campo de crescente relevância em um mundo que busca conciliar crescimento econômico, uso eficiente de recursos naturais e controle da poluição (POTLURI; PHANI, 2020). Essa modalidade de empreendedorismo combina a busca por lucro com inovações tecnológicas que podem mitigar o impacto humano no meio ambiente, abordando questões globais como degradação do solo, mudanças climáticas e perda de biodiversidade (KIYAK; GRIGOLIENĖ, 2023). Essa abordagem inovadora não apenas impulsiona a criação de novos negócios, mas também promove a adoção de práticas mais sustentáveis em empresas já estabelecidas, contribuindo para a construção de uma economia mais verde e resiliente (ADEKUNLE, 2024). Políticas governamentais de apoio, como incentivos fiscais, financiamento facilitado e regulamentação ambiental mais rigorosa, desempenham um papel crucial no estímulo ao empreendedorismo verde (GE et al., 2018).

A inovação em tecnologias ambientais é um processo complexo que envolve a criação, desenvolvimento e implementação de novos produtos, processos ou serviços que visam reduzir os impactos ambientais negativos e promover a sustentabilidade. Essas inovações podem abranger uma ampla gama de setores, como energia renovável, tratamento de água e resíduos, agricultura

sustentável, transporte limpo e construção verde. O desenvolvimento de tecnologias ambientais inovadoras requer investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, bem como a criação de um ambiente regulatório favorável que incentive a adoção dessas tecnologias. A colaboração entre empresas, universidades, governos e organizações não governamentais é fundamental para acelerar o processo de inovação e garantir que as tecnologias desenvolvidas atendam às necessidades do mercado e da sociedade.

A crescente conscientização sobre os desafios ambientais e a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável tem impulsionado o surgimento de um ecossistema vibrante de startups focadas em tecnologias ambientais. Essas startups estão desenvolvendo soluções inovadoras para uma ampla gama de problemas ambientais, desde a redução das emissões de gases de efeito estufa até a gestão eficiente de recursos hídricos e a promoção da economia circular. A capacidade de identificar oportunidades de mercado, desenvolver tecnologias inovadoras e atrair investimentos são fatores críticos para o sucesso dessas startups.

As startups em tecnologia ambiental estão ganhando destaque no cenário global, impulsionadas pela crescente preocupação com as mudanças climáticas, a escassez de recursos naturais e a necessidade de promover um desenvolvimento mais sustentável. Essas empresas estão utilizando tecnologias inovadoras, como inteligência artificial, big data, internet das coisas e biotecnologia, para desenvolver soluções que visam mitigar os impactos ambientais, promover a eficiência no uso de recursos e criar novos modelos de negócios baseados na economia circular. A gestão sustentável dos recursos hídricos é uma área de grande interesse, com startups desenvolvendo soluções para monitoramento da qualidade da água, otimização do uso da água na agricultura e tratamento de efluentes industriais. O uso de drones e satélites para monitoramento ambiental, combinados com análise de dados e inteligência artificial, permite identificar áreas de desmatamento, detectar focos de incêndio e monitorar a saúde das florestas. Além disso, as startups estão desempenhando um papel importante na transição para uma economia de baixo carbono, desenvolvendo tecnologias para geração de energia renovável, como solar, eólica e biogás, e promovendo a eficiência energética em edifícios e processos industriais. (PAES et al., 2020).

O empreendedorismo verde tem se mostrado uma resposta eficaz à crise econômica (SERIO et al., 2020). A ideia de empreendedorismo e inovação ganha corpo com o advento das tecnologias de informação (CIMINI; RAPINI; SILVA, 2017). O sucesso de uma startup depende da aplicação de estratégias de gestão específicas para cada fase do negócio. As empresas sustentáveis não apenas buscam reduzir seus impactos negativos no meio ambiente e na sociedade, mas também gerar impactos positivos e significativos (KUCKERTZ; BERGER; GAUDIG, 2019).

Apesar do grande potencial das startups de tecnologias ambientais, elas enfrentam diversos desafios para escalar seus negócios e alcançar um impacto significativo no mercado. A complexidade regulatória ambiental, caracterizada por processos de licenciamento demorados e exigências técnicas complexas, representa uma barreira significativa para o crescimento dessas empresas.

Metodologia

Esta pesquisa é analítica com abordagem quantitativa baseada em análise multivariada e descritiva aplicada no contexto da área de inovação, com o intuito de observar, analisar, registar e interpretar os dados coletados. As principais fontes foram os dados primários coletados na base de dados selecionada, e dados secundários por meio de levantamento bibliográfico sobre os temas Startups e Tecnologias Ambientais para mapear conceitos de segmentos de startups.

A primeira etapa para mapear startups no segmento de tecnologias ambientais deve incluir os seguintes passos: Identificar fontes de dados; coletar dados sobre as startups, como nome, localização, área de atuação, soluções oferecidas, entre outros; selecionar segmentos de atuação aderentes a tecnologias ambientais e analisar os dados coletados.

Diversas fontes de dados, tais como Abstartups, Crunchbase, Linkedln, Lavca, entre outras, foram utilizadas para identificar e qualificar as startups. A seleção da base de dados da Abstartups se deu por apresentar uma metodologia clara de coleta de dados e informações completas e confiáveis, devido à sua extensa rede de mantenedores, o que garante a qualidade da pesquisa.

Após a fase de coleta foi identificado os segmentos de atuação das startups, e correlacionado com a área de Tecnologias Ambientais para identificar, sendo eles:

Tabela 1 - Relação dos segmentos com Tecnologias Ambientais

Segmento	Definição	Relação com Tecnologias Ambientais
Adtech	Tecnologia em publicidade e marketing digital.	Não
Agetech	Tecnologias para saúde do idoso e bem-estar da pessoa idosa.	Não
Agtech	Inovações na agricultura e agronegócio.	Sim
Autotech	Tecnologia no setor automotivo, veículos autônomos, elétricos.	Parcialmente
Babytech	Tecnologias voltadas ao setor infantil.	Não
Beautytech	Tecnologias na beleza e cosméticos.	Não
Biotech	Biotecnologia e aplicações biológicas.	Sim
Cleantech	Tecnologias limpas para redução de impacto ambiental.	Sim
Comunicação	Tecnologias de comunicação digital.	Não
Condotech	Soluções tecnológicas para condomínios.	Parcialmente
Construtech	Tecnologias na construção civil e infraestrutura.	Sim

Cybersecurity	Segurança digital e proteção de dados.	Não
Deeptech	Pesquisa e inovação científica avançada.	Variável
Edtech	Empresas que inovam na educação com plataformas, recursos digitais.	Não
Energytech	Tecnologias para energia limpa, renovável e eficiência energética.	Sim
Eventstech	Tecnologias para eventos.	Não
Fashiontech	Tecnologia na moda.	Não
Fintech	Startups que oferecem soluções financeiras por tecnologia.	Parcialmente
Foodtech	Inovações em alimentação, produção de alimentos e cadeia de suprimentos.	Parcialmente
Funtech	Tecnologias para entretenimento.	Não
Gametech	Tecnologias de jogos e entretenimento digital.	Não
Gestão de Negócios e Projetos	Ferramentas de gerenciamento empresarial.	Não
Govtech	Tecnologias para gestão pública.	Parcialmente
Greentech	Soluções tecnológicas para o meio ambiente e sustentabilidade.	Sim
Healthtech	Tecnologia na saúde e bem-estar.	Não
HRTech	Recursos humanos e gestão de talentos com tecnologia.	Não
Indtech	Tecnologia na indústria e processos industriais.	Sim
Insurtech	Inovações no setor de seguros.	Não
Lawtech	Tecnologia no setor jurídico.	Não
Life Science	Ciências da vida, biotecnologia e saúde.	Parcialmente
Logtech	Tecnologia na logística e transporte.	Parcialmente
Martech	Tecnologia em marketing e publicidade.	Não
Mineração	Tecnologias para extração de minerais.	Parcialmente
Mobitech	Tecnologias de mobilidade e transporte.	Parcialmente
MVNO	Operadoras virtuais de telefonia móvel.	Não
Nanotech	Nanotecnologia para diversas aplicações.	Variável
Óleo e Gás	Tecnologias na exploração de petróleo e gás.	Parcialmente
Pettech	Tecnologias para o setor animal e pets.	Parcialmente
Proptech	Tecnologia no setor imobiliário e de propriedades.	Parcialmente
Regtech	Tecnologias de conformidade e compliance.	Não
Retailtech	Inovações no varejo com tecnologia.	Não
Robotech	Robótica para diversos setores.	Variável
Salestech	Tecnologia nas vendas e estratégias comerciais.	Não
Smart City	Soluções tecnológicas para cidades inteligentes e sustentáveis.	Sim
Socialtech	Tecnologias com impacto social e inclusão social.	Parcialmente
Sportstech	Tecnologia no esporte.	Não
Supply Chain	Gestão da cadeia de suprimentos.	Parcialmente
Tech	Desenvolvimento de software e tecnologias digitais diversos.	Variável
Turistech	Tecnologias no setor de viagens e turismo.	Não

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com o segmento foi analisado a correlação entre as startups e tecnologias ambientais classificando em sim para casos onde a correlação é forte, parcialmente para correlação fraca, e não para ausência de correlação identificável. Ainda há casos classificados como variável onde deve ser analisado o contexto das aplicações. Esta pesquisa irá analisar as startups fortemente correlacionadas.

Após a seleção, os dados passaram por um processo de análise multivariada e descritiva, com o objetivo de identificar padrões de tecnologias ambientais pelas startups brasileiras.

Resultados

Uma vez clusterizado os grupos de segmentos de startups de acordo com a aderência ao conceito de tecnologias ambientais observam-se na figura 1, os relação dos segmentos relativos às startups brasileiras fortemente correlacionadas com tecnologias ambientais. O segmento Agritech apresenta o maior número de startups, totalizando 121, indicando uma expressiva presença de empresas focadas em soluções tecnológicas para o setor agrícola, com impacto ambiental positivo, como agricultura de baixo impacto, uso eficiente de recursos e inovação sustentável. O segmento Indtech aparece em segundo lugar, com 73 startups, sugerindo uma participação relevante de empresas voltadas à inovação tecnológica na indústria, provavelmente incluindo processos mais limpos, economia circular e redução de resíduos.

O segmento Greentech apresenta 70 startups, reforçando a forte relação com o desenvolvimento de soluções voltadas diretamente à preservação do meio ambiente. Outros segmentos importantes incluem Construtech, com 57 startups, e Energytech, com 44, indicando um crescimento na adoção de tecnologias para construção sustentável e energias renováveis. Segmentos como Biotech, Cleantech e Smart City também se destacam, evidenciando uma diversificação das áreas de inovação, todas com

potencial impacto positivo no meio ambiente. Estes achados corroboram a importância crescente de tecnologias ambientais em diversos setores da economia brasileira, refletindo uma busca por práticas mais sustentáveis e eficientes.

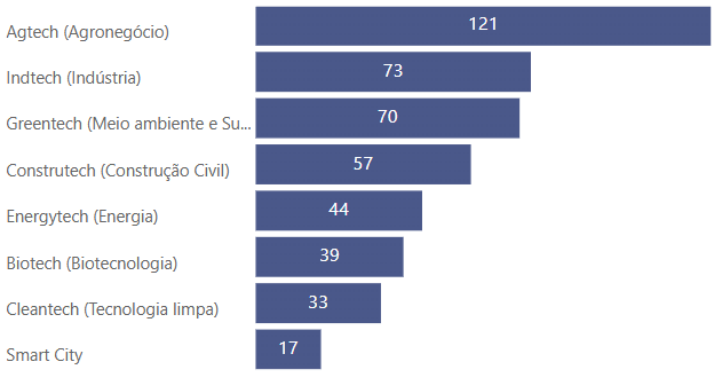


Figura 1: Número de Startups por Segmento correlacionadas com Tecnologias Ambientais.

Esses resultados demonstram que a maior concentração de startups fortemente correlacionadas às Tecnologias Ambientais está nos setores de agronegócio, indústria, meio ambiente, construção e energia, refletindo as áreas prioritárias de inovação sustentável no Brasil. O crescente suporte público às atividades inovadoras de pequenas empresas tem demonstrado um impacto significativo, tanto no volume de recursos disponibilizados quanto na diversificação dos instrumentos de apoio, o que, por sua vez, promove a intensificação dos esforços inovadores nesse importante segmento empresarial brasileiro. O estímulo à inovação tecnológica é fundamental para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental (SHABIR et al., 2023; SHIMA; COSTA, 2005).

Na figura 2 é possível identificar que a maior concentração de startups está na região Sudeste, especialmente em São Paulo, com 146 startups. Outras regiões também apresentam número considerável de startups, como Minas Gerais (55), Santa Catarina (41) e Rio Grande do Sul (35). As regiões Norte, Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste possuem menor quantidade, refletindo uma maior concentração de ecossistemas de inovação nas regiões mais desenvolvidas economicamente.

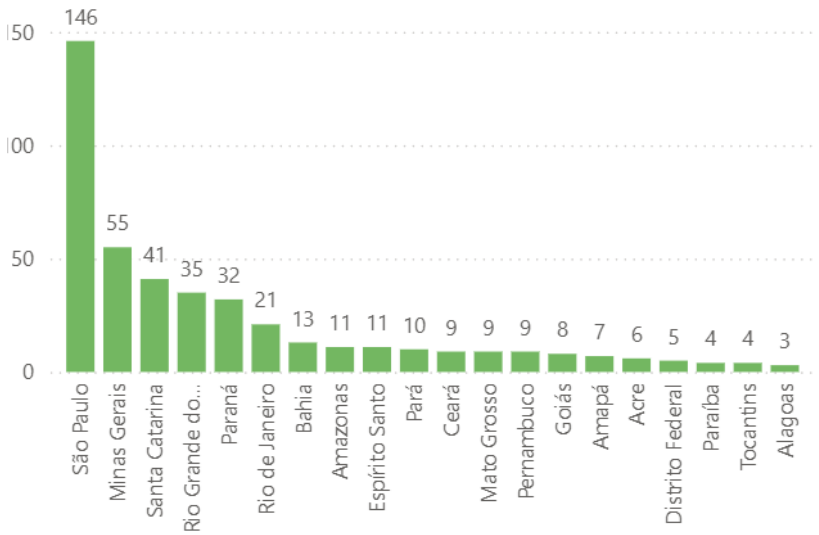


Figura 2: Número de Startups por estado.

Conclusão

Por meio desta pesquisa é possível visualizar que a região Sudeste, especialmente São Paulo, concentra a maior quantidade de startups relacionadas às tecnologias ambientais, indicando maior ecossistema de inovação nesse setor. Além disso, os setores de agronegócio, indústria e meio ambiente lideram o número de startups com forte relação às Tecnologias Ambientais, mostrando uma prioridade clara no desenvolvimento de soluções sustentáveis nessas áreas.

De modo que a distribuição geográfica evidencia o incremento de polos de inovação no Brasil, mas também aponta a necessidade de maior incentivo e desenvolvimento em outras regiões para ampliar o impacto ambiental positivo das startups.

Com base nos resultados obtidos, é possível direcionar os esforços e políticas públicas para fortalecer as regiões em desenvolvimento que tem relação forte com agricultura disseminando conhecimento e tecnologia que impactante no ambiente de startups e meio ambiente, promovendo um ecossistema de inovação ainda mais propício ao surgimento e crescimento dessas

empresas. Esta pesquisa está restrita à base de dados considerada na análise e ao contexto geográfico do estudo, sendo estas as principais limitações da pesquisa. É importante destacar a necessidade de continuidade e aprimoramento das pesquisas e estudos nessa área, a fim de monitorar a evolução do ecossistema de startups no segmento Tecnologias Ambientais e garantir o seu crescimento sustentável e competitivo no cenário estadual e nacional. Como estudos futuros sugere-se identificar e analisar as tecnologias usadas pelas startups e também o contexto onde estão inseridas.

Referências Bibliográficas

ADEKUNLE, K. **Green Entrepreneurship and Innovation in the Circular Economy: Opportunities for Startups and Small Businesses**. 1 Jan. 2024.

ANUNCIAÇÃO, I. I. M.; FERNANDES, G. A. **As startups no ordenamento jurídico: uma leitura comparada dos ecossistemas de startups na Argentina, no Chile e no Brasil**. Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas, p. 240, 17 Sep. 2021.

BESSEN, J. et al. **GDPR and the Importance of Data to AI Startups**. SSRN Electronic Journal, 1 Jan. 2020.

Brasil é o país da América Latina com maior número de startups abertas e ativas, afirma estudo. , Sep. 2023. Disponível em: <https://startupi.com.br/brasil-pais-com-maior-numero-de-startups/>. Acesso em: 13 may. 2025

BUENO, A.; TORKOMIAN, A. L. V. **FINANCIAMENTOS À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA:REEMBOLSÁVEIS, NÃO REEMBOLSÁVEIS E INCENTIVOS FISCAIS**. RAI revista de administração e inovação, v. 11, n. 4, p. 135, 10 Jan. 2015.

CIMINI, F.; RAPINI, M. S.; SILVA, L. A. **Dinâmicas setoriais de inovação e tamanho de empresa no Brasil: para além do quebra-cabeça Schumpeteriano**. Blucher Engineering Proceedings, p. 282, 1 Sep. 2017.

DIAS, T. R. F. V.; MARTENS, C. D. P.; LACERDA, F. M. **ENTREPRENEURIAL LEARNING IN THE CONTEXT OF FAILURE AND CREATION OF NEW BUSINESS**. Brazilian Creative Industries Journal, v. 1, n. 1, p. 49, 1 Jul. 2021.

FATEMA, K.; MAHBUBUL, M. M.; SAEF, M. **Demography of Startup Software Companies: An Empirical Investigation on the Success and Failure**. International Journal of Computer Applications, v. 176, n. 29, p. 1, 18 Jun. 2020.

FAVARIN, R. R. et al. **A inovação sustentável em integrantes do startup Chile**. Cadernos de Gestão e Empreendedorismo, v. 8, n. 1, p. 20, 22 Apr. 2020.

GE, B. et al. **“Green Ocean Treasure Hunting” Guided by Policy Support in a Transitional Economy**. Sustainability, v. 10, n. 2, p. 445, 8 Feb. 2018.

KIYAK, D.; GRIGOLIENĖ, R. **Analysis of the Conceptual Frameworks of Green Marketing**. Sustainability, v. 15, n. 21, p. 15630, 5 Nov. 2023.

KUCKERTZ, A.; BERGER, E. S. C.; GAUDIG, A. **Responding to the greatest challenges? Value creation in ecological startups.** Journal of Cleaner Production, v. 230, p. 1138, 16 May 2019.

LANA, H. A.; PIMENTA, E. G. **ACELERAÇÃO, INCUBAÇÃO E ECOSSISTEMA EMPREENDEDOR: ANÁLISE JURÍDICA DAS STARTUPS**. Revista do Direito, n. 63, p. 131, 19 Aug. 2021.

NISHANT, R.; KENNEDY, M.; CORBETT, J. **Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda**. International Journal of Information Management, v. 53, p. 102104, 20 Apr. 2020.

Número de startups no Brasil aumentou 5X entre 2012 e 2020. , Oct. 2020. Disponível em: <https://pipeline.capital/numero-de-startups-no-brasil-aumentou-5x-entre-2012-e-2020/>. Acesso em: 13 may. 2025

OLIVEIRA, R. M. DE; BEUREN, I. M. **Sustentabilidade no Ambiente de Startups: Revisão Sistemática de Publicações Internacionais**. Revista organizações em contexto/Organizações em Contexto, v. 17, n. 33, p. 225, 31 Aug. 2021.

PAES, A. C. DOS S. et al. **Roadmapping implementation in digital startups: cases of study in agile environment**. Product Management & Development, v. 18, n. 1, p. 92, 1 Jan. 2020.

POTLURI, S.; PHANI, B. V. **Incentivizing green entrepreneurship: A proposed policy prescription (a study of entrepreneurial insights from an emerging economy perspective)**. Journal of Cleaner Production, v. 259, p. 120843, 4 Mar. 2020.

SERIO, R. G. et al. **Green production as a factor of survival for innovative startups**. Evidence from Italy. arXiv (Cornell University), 1 Jan. 2020.

SHABIR, M. et al. **The role of innovation in environmental-related technologies and institutional quality to drive environmental sustainability**. Frontiers in Environmental Science, v. 11, 20 Apr. 2023.

SHIMA, W. T.; COSTA, A. D. **Lei de Inovação Tecnológica**. Revista Economia & Tecnologia, v. 1, n. 2, 31 Aug. 2005.

SOBRINHO, I. C.; GONÇALVES, E**. Instrumentos de apoio financeiro para parques tecnológicos: a experiência de Minas Gerais**. Revista de Economia, v. 37, n. 2, 31 Aug. 2011.

TSAPLIN, E.; POZDEEVA, Y. **International strategies of business incubation: the USA, Germany and Russia**. International Journal of Innovation, v. 5, n. 1, p. 32, 16 Feb. 2017.

VIEIRA, K. C. et al. **Fontes Externas no Processo de Inovação Aberta: Fatores Potencializadores e Restritivos em Startups de Base Tecnológica**. Journal on Innovation and Sustainability RISUS, v. 6, n. 3, p. 3, 15 Dec. 2015.