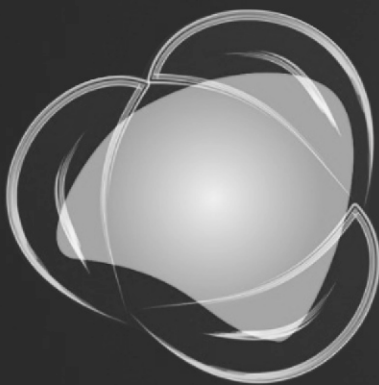


GESTÃO AMBIENTAL



**INSTITUTO
FEDERAL**
Sul de Minas Gerais
Campus
Muzambinho





GESTÃO AMBIENTAL



**INSTITUTO
FEDERAL**
Sul de Minas Gerais
Campus
Muzambinho



GESTÃO AMBIENTAL
EBOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL
DE MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

ISBN: 978-65-88890-49-3

DOI:

Editor Chefe

Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Conselho Editorial

Dr. Lais Brito Cangussu

Dr. Rômulo Maziero

Msc. Jorge dos Santos Mariano

Dr. Jean Canestri

Msc. Daniela Aparecida de Faria

Dr. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca

Msc. Edgard Gonçalves da Costa

Msc. Gilmara Elke Dutra Dias

Projeto Gráfico e Diagramação

Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte

Maria Aparecida Fernandes

Revisão

Os Autores

Organizadores:

Valquíria Mikaela Rabelo;

Claudiomir Silva Santos;

Fabricao Santos Rita;

Hernani Ciro Santana;

Cléber Moterani Tavares;

Gilcean Silva Alves;

Generci Dias Lopes;

Paulo Roberto Megna Francisco.

2024 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2024 Os autores

Copyright da Edição © 2024 Synapse Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, *Open Access*, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.



Compartilhando conhecimento

2024

GESTÃO AMBIENTAL
E-BOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R114a Rabelo, Valquíria Mikaela et al.

Gestão Ambiental

E-book do 21º Congresso Nacional de meio Ambiente - Poços de Caldas 2024.

Organizadores: Valquíria Mikaela Rabelo; Claudiomir Silva Santos; Fabricio Santos Rita; Hernani Ciro Santana; Cléber Moterani Tavares; Gilcean Silva Alves; Generci Dias Lopes; Paulo Roberto Megna Francisco.

Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2024, 188 p.

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-49-3

DOI:

1. Inovação. 2. Tratamento de efluentes líquidos e sólidos.
3. Desenvolvimento sustentável .

- I. E-book do 21º Congresso Nacional de meio Ambiente - Poços de Caldas 2024.
- II. Rabelo, Valquíria Mikaela et al.

CDU: 333.72

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons.
Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

SYNAPSE EDITORA

Belo Horizonte – Minas Gerais

CNPJ: 40.688.274/0001-30

Tel: + 55 31 98264-1586

www.editorasynapse.org

editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento

2024

GESTÃO AMBIENTAL
E-BOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

GSC EVENTOS ESPECIAIS

Gisele Corrêa Ferreira
Diretora

Lígia Sanches
Administrativo e Financeiro

Márcia Oliveira
Coordenação de Eventos

Keila Cornetes
Projeto Gráfico e Rede Sociais

GESTÃO AMBIENTAL
E-BOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

Organizadores

Valquíria Mikaela Rabelo;
Claudiomir Silva Santos;
Fabricio Santos Rita;
Hernani Ciro Santana;
Cléber Moterani Tavares;
Gilcean Silva Alves;
Generci Dias Lopes;
Paulo Roberto Megna Francisco.

Realização



Apoio



2024

GESTÃO AMBIENTAL
E-BOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

ORGANIZAÇÃO

GSC Eventos Especiais

COMISSÃO ORGANIZADORA

Valquíria Mikaela Rabelo;
Claudiomir Silva Santos;
Fabricio Santos Rita;
Hernani Ciro Santana;
Cléber Moterani Tavares;
Gilcean Silva Alves;
Generci Dias Lopes;
Paulo Roberto Megna Francisco.

COMISSÃO CIENTÍFICA

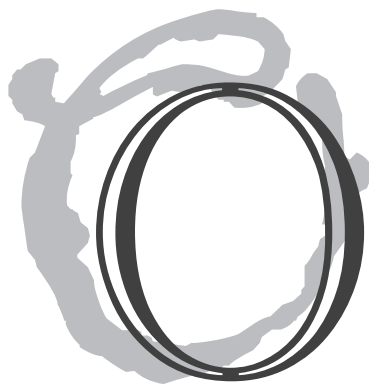
Adriana de Oliveira Leite Coelho – UNIVALE
Afonso Peche Filho – IAC
Agda Silva Prado – IFSULDEMINAS
Alisson Souza de Oliveira – UFU
Altieres Paulo Ruela – IFSULDEMINAS
Amanda Tristão Santini – UFV
Anna Lygia de Rezende Maciel – IFSULDEMINAS
Claudiomir da Silva dos Santos – IFSULDEMINAS
Cléber Moterani Tavares – UNIFAL
Dayane Gonçalves Ferreira – UNIVALE
Fabrício dos Santos Rita – IFSULDEMINAS
Fabrício Pelizer de Almeida – UNIUBE
Generci Dias Lopes – IFSULDEMINAS
George do Nascimento Ribeiro – UFCG
Gilcean Silva Alves – IFPB
Giliane Aparecida Vicente da Silva Souza – UFPB
Gustavo Henrique Cepolini Ferreira - UNIMONTES
Gustavo Henrique Gravatim Costa – UEMG
Gypson Dutra Junqueira Ayres – UFCG
Hernani Ciro Santana - UNIVALE
Irene Carniatto Oliveira – UNIOESTE
Israel José da Silva – UFMG
Joziana Muniz de Paiva Barçante – UFLA
Juliano de Paulo dos Santos - UFMT
Katia Sakihama Ventura – UFSCAR

GESTÃO AMBIENTAL
E-BOOK DO 21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.

Leandro Gustavo Silva – IFSULDEMINAS
Lilian Vilela Andrade Pinto – IFSULDEMINAS Lina Bufalino – UFRA
Lissandra Lopes Coelho Rocha – UNIVALE
Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido – IFSULDEMINAS
Luciano dos Santos Rodrigues – UFMG
Marcelo Bregagnoli - IFSULDEMINAS
Marcelo Simão da Rosa – IFSULDEMINAS
Marcos Barreto de Mendonca – UFRJ
Maria Teresa Mariano – PUC
Mayara Andrade Souza – CESMAC
Monise Martins Silva – UEMG
Paula Tristão Santini - IFSULDEMINAS
Paulo Roberto Megna Francisco – UFCG
Paulo Sergio Lúcio – UFRN
Pollyanna Freire Montenegro Agra – UFCG
Rodrigo Florêncio Da Silva - Instituto Politécnico Nacional – México
Ronei Aparecido Barbosa – IFSULDEMINAS
Rosangela Francisca de Paula Vitor Marques – UNINCOR
Shirleyde Alves dos Santos – UEPB
Tais Arthur Correa – UEMG
Valquíria Mikaela Rabelo – UNIFAL
Vênia Camelo de Souza – UFPB
Vera Lucia Navarro - USP
Vilmar Alves Pereira – UNINI
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – UFCG
Viviane Farias Silva – UFCG



PREFÁCIO



crescimento populacional, associado ao consumismo e à elaboração de produtos que utilizam o plástico como matéria-prima, vem gerando sérios impactos ao meio ambiente. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo. No entanto, a taxa mundial de reciclagem de plástico é de apenas 9%,; e no nosso país essa taxa cai para 1,28%.

Isso levanta um questionamento essencial: para onde vão esses resíduos que não são reciclados? Eles acabam sendo despejados em rios, bueiros, oceanos, ou vão parar em aterros e lixões a céu aberto. São materiais que podem entupir redes de esgoto, provocando alagamentos durante chuvas fortes. Ademais, o plástico libera substâncias tóxicas, capazes de contaminar o meio ambiente e, indiretamente, o próprio ser humano.

Dessa forma, ao analisarmos a baixa incidência de destinação correta de resíduos, devemos repensar a forma como queremos viver neste planeta, pois os impactos já são visíveis no presente. O meio acadêmico e a sociedade, de forma geral, precisam tomar conhecimento das políticas públicas já existentes e exigir medidas e fiscalizações mais eficazes. Além disso, pequenas ações, como a separação e destinação correta dos resíduos, apresentam resultados significativos. Uma pessoa produz, em média, 1 kg de resíduo por dia. Se reduzíssemos apenas 5% dessa produção individual, ao final de um ano, o Brasil teria uma redução de aproximadamente 4.088.000 toneladas de lixo.

Outro ponto importante são as pesquisas e eventos como o Congresso Nacional de Meio Ambiente (CNMA), que conectam ideias e disseminam conhecimentos que podem ser aplicados em todo o país, promovendo a mitigação dos impactos dos resíduos por meio da gestão ambiental. No CNMA 2024, pudemos nos inteirar de pesquisas que utilizam tecnologia para solucionar esses problemas, como plataformas digitais para a gestão de resíduos, reatores anaeróbios para o tratamento de efluentes e sistemas de energia renovável, com potencial para transformar práticas insustentáveis.

Não podemos nos esquecer de que a consciência ambiental é um dos pilares fundamentais para fomentar práticas sustentáveis. Essa consciência deve ser cultivada desde cedo e estar presente no cotidiano da educação básica. Mais uma vez, o CNMA se destaca: por meio de seus representantes, desenvolve ações ambientais em escolas da região e proporciona a muitos alunos a oportunidade de vivenciar um ambiente de aprendizado em que o conhecimento adquirido é disseminado para toda a comunidade.

Diante da relevância desses temas, convido você, leitor, a se inteirar das pesquisas que estão sendo realizadas em nosso país, buscando construir uma sociedade ambientalmente consciente e um meio ambiente verdadeiramente sustentável.

Valquíria Mikaela Rabêlo
Professora, mestre em Ciências Ambientais.



Compartilhando conhecimento
2024

SUMÁRIO

Alternativas locacionais na avaliação de impacto ambiental de dutos	11
Avaliação da suscetibilidade à erosão no município de cruzeiro – sp	21
Investigação da bioenergia no Brasil: Mapeamento e contribuições ao suprimento energético nacional	32
Possibilidades de alfabetização energética em energias renováveis: Uma revisão sistemática da literatura	39
Modelagem da dinâmica da Molécula de Atrazina em Latossolo: Calibração e Teste do Modelo Macro 5.2	46
Estudo comparativo da produção de ácidos orgânicos por diferentes fungos filamentosos com potencial para aplicação na biolixiviação de metais	55
Análise comparativa dos dados de esgotamento sanitário de Minas Gerais	65
Emprego de reatores anaeróbios de alta taxa no tratamento de águas residuárias do abate de frangos	93
Diversificação da matriz energética brasileira: um estudo de caso de viabilidade técnica da energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino do Sudoeste de Minas Gerais	100
Qualidade da água da chuva captada a partir de diferentes tipos de superfícies de telhado	109
Desempenho de uma estação de tratamento de efluentes de pescado composta por reatores anaeróbios em escala real	118
Seja Eco: uma plataforma de software que auxilia na destinação correta de resíduos urbanos no município de Poços De Caldas - MG	125
Análise das práticas de educação ambiental e a coleta seletiva do IFPB, Campus Sousa, unidade São Gonçalo - PB	133
Arborização urbana: Características fitogeográficas e estruturais das praças do município de Nazarezinho - PB	140
Análise da composição de composto feito com carcaça, penas e vísceras de aves	150
Ecoconnect: Uma plataforma digital para o gerenciamento eficiente de resíduos sólidos recicláveis	157
Análise de tecnologias e inovações voltadas para a preservação do meio ambiente	167
Identificação dos impactos ambientais provenientes das etapas de tratamento da ETA de São Gonçalo/PB e proposição de medidas de controle ambiental	173
Sobre os Organizadores	183

ALTERNATIVAS LOCACIONAIS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE DUTOS

Políticas públicas, legislação e meio ambiente

Fernanda Verri Rodrigue
Mestranda no Programa de Pós-graduação em
Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade
Federal de Itajubá
fernandaverri@unifei.edu.br

Maria Rita Raimundo e Almeida
Profa. Dra. na Universidade Federal de Itajubá –
Instituto de Recursos Naturais,
mrralmeida@unifei.edu.br

Resumo

No âmbito do direito ambiental brasileiro, os princípios da prevenção e precaução são essenciais para mitigar os riscos e incertezas associados aos impactos ambientais das atividades humanas. Esses princípios visam proteger a vida humana e o meio ambiente, estando diretamente relacionados com a discussão sobre alternativas locais de empreendimentos. Assim, este trabalho objetivou analisar a qualidade dos estudos de alternativas locais apresentados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) dos processos de Licenciamento Ambiental de dutos realizados em São Paulo e Minas Gerais. A metodologia adotada foi qualitativa, com foco na análise de conteúdo do estudo de alternativas dos EIA dos quatro casos selecionados, sendo os estudos analisados com base em 11 critérios estabelecidos na literatura. Os resultados revelaram que os estudos realizados em Minas Gerais não cumpriram o estabelecido na Resolução CONAMA nº 01/1986, ao não explorar de forma adequada as alternativas, confrontando-as com a não realização do projeto. Em contrapartida, os estudos realizados em São Paulo apresentaram análises mais detalhadas das alternativas, embora ainda houvesse deficiências na justificativa das escolhas finais. Para este último estado, sete critérios foram cumpridos pelos dois estudos de caso, dois não foram cumpridos por nenhum e dois foram cumpridos apenas por um estudo de caso. Assim, há uma necessidade urgente de aprimorar as práticas de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em ambos os estados e integrar a AIA com instrumentos de planejamento é fundamental para garantir uma consideração mais abrangente de alternativas viáveis, promovendo decisões mais sustentáveis e alinhadas com as normativas ambientais vigentes.

Palavras-chave: Estudo de Impacto Ambiental; Dutos; Licenciamento Ambiental; Critérios Locacionais.

INTRODUÇÃO

Segundo Lerner, Jeronymo e Pinto (2016), no âmbito do direito ambiental brasileiro, os princípios da prevenção e da precaução são utilizados em contextos de risco ou incerteza sobre os impactos de determinadas ações na vida humana e no meio ambiente. O princípio da prevenção envolve a adoção de medidas que objetivem evitar riscos (Machado; Goés, 2022), aplicando-se a “situações de perigo concreto que pode levar a um dano se não forem adotadas providências, pelo que não se pode esperar que o dano aconteça” (Melo, 2020, p. 257). Por sua vez, o princípio da precaução refere-se à “obrigação de se tomar medidas e decisões que venham a evitar e impedir que se concretizem os efeitos nocivos dos riscos desconhecidos” (Engelmann, 2013, p. 304). A precaução é um paradigma de tomada de decisão na área ambiental e outras, onde há uma disparidade entre o conhecimento disponível para prever os efeitos de ações e o potencial risco dessas ações (Lerner; Jeronymo e Pinto, 2016).

No Brasil, a aplicação desses princípios envolve os Estudos de Impacto Ambiental (EIA), regulamentados pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01/1986 (CONAMA, 1986). Um EIA deve apresentar uma síntese clara e concisa da caracterização do empreendimento, da condição do meio onde será implantado o projeto (diagnóstico ambiental), descrever os prováveis impactos ambientais (prognóstico ambiental), caracterizar as propostas de medidas de mitigação e compensatórias, a importância dos impactos residuais e apresentar sugestões para estudos de acompanhamento (Ross; Morrison-Saunders; Marshall, 2006). Sendo assim, o EIA deve identificar, prever e interpretar os impactos ambientais relevantes de um projeto e também está entre as diretrizes gerais para a sua elaboração “contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto” (CONAMA, 1986).

Como o potencial de causar impacto depende da pressão que o tipo de empreendimento exerce sobre os recursos naturais e da sensibilidade do local planejado para a implantação do projeto (Sánchez, 2020), sem um estudo de alternativas, especialmente locais, a avaliação dos impactos pode se limitar apenas à proposição de medidas para mitigar impactos que poderiam ser evitados se o local mais adequado fosse escolhido (Fernandes et al., 2017).

Para certos tipos de projetos, a análise de alternativas locais é ainda mais importante, como é o caso da instalação de dutos. Os dutos são tubulações para transporte de materiais e são denominados de acordo com o material transportado (Ribeiro, 2022). Segundo a Resolução CONAMA nº 01/1986, dependerá de elaboração de EIA, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como oleodutos, gasodutos e minerodutos (CONAMA, 1986).

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade do estudo de alternativas locais apresentado nos EIA dos processos de Licenciamento Ambiental de dutos realizados em São Paulo e Minas Gerais, além de comparar a qualidade dos estudos apresentados em ambos os estados.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se em uma abordagem qualitativa, centrada na análise de conteúdo de documentos. A análise de conteúdo é uma técnica investigativa que visa a interpretação das comunicações por meio de uma descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto das comunicações (Bardin, 2011). Os documentos analisados foram os EIAs de casos selecionados, correspondentes aos processos de Licenciamento Ambiental de dutos conduzidos pelos órgãos ambientais estaduais de Minas Gerais e São Paulo. Nos EIAs, o foco esteve nas informações relacionadas ao estudo de alternativas.

As etapas de desenvolvimento deste trabalho foram divididas em: seleção dos estudos de caso; definição e aplicação dos critérios para análise do estudo de alternativas; e comparação entre os critérios do estudo de alternativas dos casos selecionados.

A seleção dos estudos de caso foi realizada utilizando as ferramentas de busca online do Sistema de Consulta e Requerimento de Audiência Pública do Estado de Minas Gerais (<https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/site/consulta-audiencia>) e do Portal Biblioteca da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (<https://modal.cetesb.sp.gov.br/portal/>). Esses sistemas servem para disponibilizar informações sobre processos de Licenciamento Ambiental em Minas Gerais e São Paulo, no entanto, nem todos os processos tramitados nesses estados estão presentes nas plataformas, especialmente aqueles realizados há mais tempo. Portanto, a pesquisa não adotou um recorte temporal específico, abrangendo todos os processos disponíveis nas bases online que atendiam ao objetivo do estudo, independentemente da data em que ocorreram. A busca nos dois sistemas foi realizada em 17/04/2024.

No sistema de Minas Gerais, foram utilizados individualmente três códigos como filtro de busca (E-01-10-4 Dutos para transporte e distribuição de gás natural, exceto malha de distribuição, E-01-11-2 Dutos para transporte e distribuição de gás, exceto gás natural ou malha de distribuição e E-01-12-0 Dutos para transporte de produtos químicos e oleodutos), referentes a empreendimentos de dutos conforme definido pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (COPAM) nº 217/2017. Entretanto, apenas o código E-01-10-4 resultou em três registros, dos quais apenas dois possuíam acesso eletrônico ao EIA. Na Biblioteca da CETESB, foi utilizado o termo "duto" como filtro de pesquisa, resultando em quatro registros de empreendimentos. Desses, apenas dois possuíam acesso eletrônico ao EIA. Assim, foram selecionados para análise quatro EIA, sendo dois de cada estado (denominados MG-1, MG-2, SP-1 e SP-2).

Na definição dos critérios para análise do estudo de alternativas locais, segundo aqueles recomendados pela literatura, foi identificado o trabalho de Fernandes et al. (2017), que realizou uma análise de alternativas locais para rodovias utilizando critérios a partir de uma busca abrangente por artigos, livros, teses e dissertações que abordavam estudos de alternativas em empreendimentos lineares. Foram selecionados de Fernandes et al. (2017) critérios cuja aplicação era objetiva, sendo estes também complementados pelas orientações sobre alternativas trazidas pela Resolução CONAMA nº 01/1986 (CONAMA, 1986). Diante disso, os critérios selecionados para a avaliação das alternativas locais para dutos estão apresentados na Tabela 01.

Estes critérios foram aplicados ao conteúdo dos estudos de alternativas apresentados nos EIA e foram avaliados como cumpridos e não cumpridos. Após a aplicação dos critérios selecionados nos estudos de caso, procedeu-se à comparação da qualidade do estudo de alternativas entre os dois estados estudados, por meio do resultado da avaliação de cada critério.

Tabela 01: Critérios utilizados para avaliação dos estudos de alternativas locais

Critérios	Autor(es)
1 - Incentivo à inovação e à prevenção	Sánchez (2020)
2 - Ser rigoroso, objetivo e não enviesado	Smith (2007)
3 - Embasar em dados confiáveis e atualizados	Canter (1996)
4 - Ponderar sobre a alternativa de não ação	CONAMA (1986), Canter (1996) e IAIA (2015)
5 - Ocorrer antes da tomada de decisões importantes	Steinemann (2001) e IAIA (2015)
6 - Propor escolhas realistas, evitando a elaboração arbitrária de alternativas, incluindo propostas inviáveis apenas para engrandecer o estudo	Yentzer e Clark (2006), Desmond (2009) e IAIA (2015)
7 - Descrever detalhadamente cada alternativa considerada	CONAMA (1986) e MMA (2011)
8 - Evitar a construção de “problemas” para restringir possíveis “soluções” (alternativas)	Agra Filho, Marinho e Santos (2007)
9 - Analisar comparativamente as alternativas	CONAMA (1986) e MMA (2011)
10 - Justificar e analisar de forma simples os motivos que eliminaram alguma alternativa	Yentzer e Clark (2006), Sánchez (200), Desmond (2009) e IAIA (2015)
11- Discutir o processo e informar a alternativa escolhida.	Yentzer e Clark (2006), Sánchez (200), Desmond (2009) e IAIA (2015)

Fonte: Modificado de Fernandes et al. (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, é descrito cada um dos quatro casos selecionados para análise, para, em seguida, apresentar os resultados da aplicação dos 11 critérios e a comparação entre os estados.

● Caso MG-1: Processo 02395/2023

Segundo o EIA disponibilizado, a região Oeste de Minas Gerais é um importante polo industrial que não possuía infraestrutura de gás natural. Para atender a essa demanda, foi proposto o Projeto Centro-Oeste, que visa expandir a rede de gás natural para diversos municípios da região central do estado. Com um alto investimento, o projeto previu a ampliação do Sistema de Distribuição de Gás Natural (SDGN) em cerca de 300 km.

No que diz respeito às alternativas locais, o tema foi abordado de forma sucinta e sem muita clareza no tópico do EIA intitulado “Estudo dos traçados e alternativas locais”. Este tópico mencionava que, antes da definição das rotas para atender os municípios incluídos no Projeto Centro-Oeste, foi realizado um estudo de traçados. O objetivo deste estudo era apoiar a escolha das melhores rotas para a execução do projeto, levando em consideração a localização dos clientes, uma vistoria técnica e fatores construtivos relevantes.

● **MG-2: Processo 02162/2023**

Este processo refere-se ao Licenciamento Ambiental em caráter corretivo da unidade industrial e os gasodutos associados em Divinópolis, que estavam operando há mais de 30 anos, com impactos já consolidados e controlados por programas de monitoramento e mitigação. Sendo assim, a etapa de estudo de alternativas era inexistente no EIA realizado, uma vez que, segundo o EIA, qualquer mudança implicaria em novos custos e impactos. Além disso, segundo o EIA, não havia restrições ambientais relacionadas à localização do empreendimento, nem opções técnicas ou locacionais que pudessem substituir a instalação atual.

● **SP-1: Processo SMA 00182/2013**

O projeto visou conectar os principais centros produtores de etanol aos consumidores finais. Na fase descrita no EIA, o Terminal Terrestre de Paulínia desempenha um papel importante na captação do etanol, enquanto a etapa "pós-Paulínia" foca na distribuição.

Segundo o EIA, comparado a outros modais, o transporte por dutos oferece economia, confiabilidade e menor impacto ambiental, com sistemas construídos conforme normas rigorosas de segurança e manutenção. A escolha das localizações para as dutovias envolveu a adaptação de diretrizes já estabelecidas, como o Projeto Uniduto, inicialmente planejado para alcançar a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e o litoral paulista. Posteriormente, foi necessário ajustar a distribuição na RMSP, optando-se por utilizar faixas existentes de dutos para evitar conflitos sociais e desafios de Licenciamento Ambiental. O estudo de alternativas realizado no EIA abrangeu alternativas locacionais e tecnológicas, bem como a alternativa de não implementação do projeto.

● **SP-2: Processo SMA 00107/2018**

O projeto envolveu a instalação de um gasoduto conectando a Baixada Santista à RMSP. Este gasoduto, com cerca de 15 km de extensão, possuía o objetivo de transportar gás natural de novas fontes de suprimento, aumentando a capacidade de abastecimento do Estado de São Paulo.

O estudo de alternativas, segundo o EIA, visou analisar e selecionar a melhor maneira de viabilizar um empreendimento, considerando tanto as tecnologias disponíveis quanto à localização mais adequada, com foco nos interesses econômicos e nas diretrizes ambientais. No caso do projeto, foram avaliadas três alternativas locacionais e tecnológicas. As alternativas locacionais foram analisadas para minimizar os impactos nos meios físico, biótico e socioeconômico, utilizando uma matriz comparativa de interferências socioambientais. Quanto às tecnologias, o gasoduto adotou métodos como furo direcional não destrutivo, abertura de vala e estrutura autoportante, já consolidados.

O projeto também considerou a alternativa zero, ou seja, a não implementação, que teria consequências negativas, como a falta de aumento na capacidade de distribuição de gás natural para atender às demandas presentes e futuras no Estado de São Paulo.

● **Aplicação dos critérios aos estudos de alternativas locacionais**

Como pode ser observado mais acima, o estudo de caso MG-2 estava relacionado ao Licenciamento Ambiental corretivo de um sistema de gasodutos, apoiando-se neste

fato para não realizar um estudo de alternativas locais no EIA. Diante disso, este caso foi descartado da aplicação dos critérios e, com base na Tabela 01, realizou-se a análise dos processos dos três estudos de casos restantes (Tabela 02).

A partir da Tabela 02, notou-se que o estudo de caso MG-1 deixou de cumprir todos os critérios selecionados, apresentando as deficiências sobre estudo de alternativas apontadas pelo Ministério Público Federal (2004). Em contrapartida, os EIAs analisados do estado de São Paulo incluíram análises de alternativas locais, variando em detalhamento e profundidade, sendo cada critério discutido mais adiante. Assim, apesar do pequeno número de casos, parece haver um melhor desempenho dos EIA paulistas frente aos mineiros quanto ao estudo de alternativas locais.

Tabela 02: Avaliação dos estudos de alternativas locais nos estudos de caso selecionados

Critérios	Minas Gerais	São Paulo	
	MG-1	SP-1	SP-2
1 - Incentivo à inovação e à prevenção	X	✓	✓
2 - Ser rigoroso, objetivo e não enviesado	X	X	✓
3 - Embasar em dados confiáveis e atualizados	X	✓	✓
4 - Ponderar sobre a alternativa de não ação	X	✓	✓
5 - Ocorrer antes da tomada de decisões importantes	X	✓	✓
6 - Propor escolhas realistas, evitando a elaboração arbitrária de alternativas, incluindo propostas inviáveis apenas para engrandecer o estudo	X	✓	✓
7 - Descrever detalhadamente cada alternativa considerada	X	X	✓
8 - Evitar a construção de “problemas” para restringir possíveis “soluções” (alternativas)	X	✓	✓
9 - Analisar comparativamente as alternativas	X	✓	✓
10 - Justificar e analisar de forma simples os motivos que eliminaram alguma alternativa	X	X	X
11 - Discutir o processo e informar a alternativa escolhida	X	X	X

✓: Critérios cumpridos; X: Critérios não cumpridos.

Os critérios 1, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 foram atendidos pelos dois casos de São Paulo. O critério 1 trata do incentivo à inovação e à prevenção, manifestando-se nos estudos pela exigência de alternativas que minimizem impactos ambientais e socioeconômicos, o que pode ser alcançado com o auxílio da tecnologia ou pelo uso de rotas já existentes. O cumprimento do critério 4 mostrou que foram realizadas ponderações sobre a não implantação do empreendimento e destacado que a inação resultaria em prejuízos econômicos locais. Os critérios 3 e 5, fundamentais para atingir o objetivo da Avaliação

de Impacto Ambiental (AIA), foram abordados nos estudos e indicam que os trabalhos foram realizados com dados confiáveis e atualizados e que as decisões foram baseadas nas alternativas propostas. Os critérios 6 e 8 garantem que não houve criação de "problemas" para limitar "soluções", não desconsiderando opções modernas em favor de alternativas já utilizadas, e propondo escolhas realistas na elaboração de alternativas. Isso evita a avaliação de opções inviáveis com o único objetivo de engrandecer o estudo e garantir a escolha de uma alternativa pré-definida. Finalmente, o critério 9 também foi cumprido em ambos os processos, com destaque para o caso SP-2, que apresentou um quadro comparativo e um mapa das alternativas locais, explicitando cada opção considerada.

Mesmo que os estudos tenham sido bem avaliados e cumprido sete critérios em ambos os processos analisados para o estado de São Paulo, é importante destacar que alguns critérios fundamentais para o desenvolvimento do estudo de alternativas foram negligenciados. Os critérios 10 e 11, que exigem, respectivamente, a justificativa e análise simplificada dos motivos que levaram à eliminação de alguma alternativa e ao processo de escolha, não foram atendidos por ambos os processos, pois a escolha da alternativa foi apresentada sem justificativas claras no processo de seleção.

Finalmente, com cumprimento para apenas um caso de São Paulo, estão os critérios 2 e 7. No caso SP-1, o critério 7, que requer uma descrição detalhada de cada alternativa considerada, não foi cumprido. Foram apresentadas descrições concisas acompanhadas de decisões de não escolha. Além disso, o critério 2 também não foi atendido, indicando uma análise enviesada da escolha, onde cada alternativa mencionada já tinha um aspecto negativo atribuído à escolha final.

Com base nas análises realizadas, observa-se que as falhas nos estudos de Minas Gerais incluem o não cumprimento da Resolução CONAMA nº 01/1986. Esta resolução estipula que o EIA deve incorporar a análise de alternativas tecnológicas e locais, comparando-as com a possibilidade de não execução do projeto (CONAMA, 1986). Em resumo, os processos analisados estão descumprindo as diretrizes estabelecidas pela legislação ambiental.

Embora os dois casos de São Paulo tenham apresentado estudos de alternativas e atendido a vários critérios analisados, eles exibiram falhas que comprometeram a qualidade da avaliação realizada. Em termos gerais, não ficou claro que a escolha feita era realmente a mais adequada do ponto de vista ambiental. Essas deficiências nos estudos podem estar relacionadas a falhas em etapas anteriores do processo de AIA, como a fase de definição de escopo (Fernandes et al., 2017). Além disso, a consideração de alternativas para projetos é uma das áreas da AIA que, universalmente, continuam a mostrar práticas deficientes (Pope et al., 2013).

Nesse contexto, segundo Fernandes et al. (2017), para mitigar essas deficiências dos estudos de alternativas, é essencial integrar a AIA com instrumentos de planejamento, como o zoneamento ambiental. Para os mesmos autores, estudos futuros são necessários para incluir esses instrumentos de planejamento e auxiliar no estudo e na escolha de alternativas, não apenas para rodovias e dutos, mas para todas as tipologias de atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise realizada dos EIAs de Minas Gerais e São Paulo, é possível observar uma variedade na abordagem e qualidade dos estudos de alternativas locais, sendo encontrados tanto pontos fortes quanto deficiências que impactam na conformidade com as diretrizes estabelecidas e na eficácia das decisões ambientais.

Nos casos de Minas Gerais, notou-se que não houve esforço em considerar alternativas de traçados para expansão da rede de dutos, obtendo uma abordagem limitada na análise comparativa das opções disponíveis. Isso é preocupante à luz da Resolução CONAMA nº 01/1986, que requer uma análise de alternativas tecnológicas e locais para minimizar os impactos socioambientais. Por outro lado, em São Paulo, o caso SP-2 exemplificou uma abordagem mais estruturada, incluindo a avaliação detalhada de três alternativas locais e tecnológicas. Esta análise foi fundamentada em dados confiáveis e atualizados, demonstrando um compromisso com a transparência e a objetividade na seleção da melhor alternativa, conforme os critérios estabelecidos na literatura. No entanto, mesmo no caso mais bem avaliados em São Paulo (SP-1), houve falhas.

A não conformidade com os critérios relacionados à justificativa clara das escolhas e à descrição detalhada de todas as alternativas consideradas enfraqueceu as avaliações. Essas deficiências sublinham a necessidade urgente de melhorar as práticas de AIA em ambos os estados. É essencial integrar a AIA mais profundamente com instrumentos de planejamento, para garantir que futuros estudos considerem de maneira adequada todas as possibilidades de mitigação de impactos e alternativas viáveis. Esta integração não só fortalecerá o cumprimento das normativas ambientais, mas também contribuirá para decisões mais sustentáveis e socialmente responsáveis em projetos futuros.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – Processo 88887.958353/2024-00.

REFERÊNCIAS

AGRA FILHO, S. S.; MARINHO, M. M. O.; SANTOS, J. O. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA): uma proposta metodológica para análise de efetividade de aplicação através da avaliação Ex-Post. In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

CANTER, L. W. Environmental Impact Assessment. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 17/02/1986.

COPAM - Conselho Estadual De Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Diário Oficial da União, Brasília, 08/12/2017.

DESMOND, M. Identification and development of waste management alternatives for Strategic Environmental Assessment (SEA). Environmental Impact Assessment Review, v.29, n.1, p.51-59, 2009.

ENGELMANN, W. O Direito frente aos desafios trazidos pelas nanotecnologias. In: STRECK; ROCHA; ENGELMANN. Constituição, sistemas sociais e hermenêutica. Anuário de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS. Mestrado e Doutorado, Porto Alegre, n.10, p.301-311, 2013.

FERNANDES, A. H. V.; CASSIANO, M. A.; GUIMARÃES, T. C. S.; ALMEIDA, M. R. R. Alternativas locacionais em Avaliação de Impacto Ambiental de rodovias mineiras. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v.43, Edição Especial: Avaliação de Impacto Ambiental, p.73-90, 2017.

IAIA – International Association for Impact Assessment. FASTIP: Alternatives in Project EIA. 2015. Disponível em: <https://www.iaia.org/uploads/pdf/FasTips_11_AlternativesinProjectEIA.pdf>. Acesso em: jun. 2024.

LERNER, F.; JERONYMO, C. A. L.; PINTO, A. E. M. Estudo de impacto ambiental e audiência pública: Instrumentos para participação popular na decisão ambiental? O caso de um gasoduto em Macaé, RJ, Brasil. Interespaco Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v.2, n.5, p.328-354, 2016.

MACHADO, V. F.; GÓES, C. M. Desafios à aplicação dos princípios da prevenção e da precaução no meio ambiente de trabalho para o desenvolvimento sustentável e o trabalho decente. Revista da Escola Judicial do TRT4, v.4, n.7, p.83-118, 2022.

MELO, R. S. Aplicação do princípio da prevenção no meio ambiente do trabalho. Direito Ambiental do Trabalho: Apontamentos para uma Teoria Geral, v.5, p.255, 2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA 421, de 26 de outubro de 2011. Dispõe sobre o licenciamento e a regularização ambiental federal de sistemas de transmissão de energia elétrica e dá outras providências. 2011.

MPF – Ministério Público Federal. Deficiências em Estudos de Impacto Ambiental: síntese de uma experiência. Brasília: 4ª Câmara de Coordenação e Revisão, Escola Superior do Ministério Público da União, 2004.

POPE, J.; BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A.; RETIEF, F. Advancing the theory and practice of impact assessment: Setting the research agenda. Environmental Impact Assessment Review, v.41, n. 1, p.1-9, 2013.

RIBEIRO, C. C. Análise de alternativas de traçado apresentadas em Estudos de Impacto Ambiental de gasodutos brasileiros. 2022. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2022.

ROSS, W. A.; MORRISON-SAUNDERS, A.; MARSHALL, R. Common sense in environmental impact assessment: it is not as common as it should be. Impact Assessment and Project Appraisal, v.24, n.1, p.3–22, 2006

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

SMITH, M. D. A review of recent NEPA alternatives analysis case law. Environmental Impact Assessment Review, v.27, n.01, p.126-144, 2007.

STEINEMANN, A. Improving alternatives for environmental impact assessment. Environmental Impact Assessment Review, v.21, n.01, p.3-21, 2001.

YENTZER, D. A.; CLARCK, R. The "Hierarchy of needs" Screening Process: A method for rapid development and rationalization of reasonable alternatives. Environmental Practice, v.8, n.01, p.215-217, 2006.

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRUZEIRO – SP

Conservação de solos e recuperação de áreas degradadas

Marcela das Chagas Rossato

Mestranda em Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- POSMARH, Universidade Federal de Itajubá,
Instituto de Recursos Naturais.
marossato@unifei.edu.br.

Lorena Lemos Dias Lara

Mestranda em Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- POSMARH, Universidade Federal de Itajubá,
Instituto de Recursos Naturais.
lorenaldlara@unifei.edu.br

Nívea Adriana Dias Pons

Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em
Meio Ambiente e Recursos Hídricos (POSMARH)
da Universidade Federal de Itajubá, Instituto de
Recursos Naturais.
npons@unifei.edu.br.

Vinícius Tadeu Moreira Costa

Mestrando em Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- POSMARH, Universidade Federal de Itajubá,
Instituto de Recursos Naturais.
vinicius-bli@unifei.edu.br.

Resumo

O desenvolvimento urbano no Brasil frequentemente ocorreu de maneira desordenada, resultando na exposição do solo e na degradação por processos erosivos. A alteração da cobertura vegetal foi realizada sem considerar os impactos futuros dessas intervenções, o que levou a desastres naturais que afetaram negativamente a população. Esses eventos destacaram a necessidade urgente de implementar projetos de planejamento urbano para as novas expansões. Atualmente, é possível realizar esse planejamento de forma eficiente e rápida com o uso de ferramentas de geoprocessamento e uso de produtos de sensoriamento remoto. A área de estudo deste trabalho é o município de Cruzeiro, localizado no estado de São Paulo, possui uma vasta extensão territorial, rico em nascentes, florestas nativas e uma grande diversidade de espécies do bioma Mata Atlântica que precisam ser preservadas ou recuperadas. O relevo predominante é ondulado ou montanhoso, o que pode tornar a área suscetível à erosão quando associado a solos mais permeáveis e com baixa coesão. O objetivo deste estudo foi avaliar a suscetibilidade à erosão em Cruzeiro – SP, utilizando variáveis físicas como declividade, pedologia e uso do solo. Com o auxílio do software QGIS e a metodologia da Análise Hierárquica Ponderada (AHP), foram analisadas essas características e sua influência no processo erosivo. Os resultados indicaram que a maior parte do município apresenta alta suscetibilidade à erosão, destacando que as análises de geoprocessamento são ferramentas valiosas para o planejamento e ordenamento da ocupação de novas áreas.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Processo Analítico Hierárquico; Degradação do solo.

INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural que ocorre na superfície terrestre, mesmo em ecossistemas em equilíbrio, e compreende uma série de processos nos quais o solo e/ou as rochas são desintegrados, decompostos e removidos de determinadas áreas. Esses elementos são expostos a condições distintas daquelas existentes durante sua formação e, como consequência, ocorre a erosão. Paisagens que possuem declividade, geralmente superior a 3º estão mais suscetíveis a erosão (Silva, 1995; Hernani et al., 2002; Jorge; Guerra, 2013).

A erosão pode ser desencadeada tanto por processos naturais quanto por interferência humana. Sob condições naturais, a erosão se destaca por sua intensidade sempre mais baixa do que a intensidade de formação dos solos. A intervenção humana gera processos erosivos mais intensos e acelerados (erosão acelerada) o que culmina em prejuízos para o meio ambiente e para diversas atividades econômicas (Silva, 1995; Hernani et al., 2002). Crepani et al. (2001) e Guerra e Botelho (1996) ressaltam que existe uma linha tênue entre o que é erosão natural e o que é erosão induzida por atividades antrópicas, logo, pode-se considerar que este é um processo natural que é acelerado pelos humanos.

Crepani et al. (2001) ainda destaca que o processo erosivo é influenciado por fatores naturais que não agem isoladamente, mas sim de maneira combinada, como: quantidade de chuvas (clima), o tipo de solo (pedologia), as formas do relevo (geomorfologia), os tipos de rocha (geologia) e a cobertura vegetal (cobertura e uso do solo). Esses fatores, com exceção do clima, foram utilizados neste trabalho para desenvolver um mapeamento com o objetivo de avaliar a suscetibilidade à erosão no município de Cruzeiro - SP.

A declividade está relacionada à inclinação do terreno e desempenha um papel importante na determinação da velocidade e do volume de água que escoam. À medida que a inclinação do terreno aumenta, tanto a velocidade quanto o volume de água se intensificam, resultando em uma erosão mais acentuada. A declividade está relacionada à cobertura vegetal. A vegetação desempenha um papel crucial, pois ela ajuda a dispersar a água da chuva antes que esta atinja o solo, aumentando assim, a capacidade de infiltração: um dos motivos da importância em se preservar a mata nativa. Isso, por sua vez, resulta em uma redução da velocidade do escoamento superficial e da capacidade de erosão (Silva, 1995; Crepani et al., 2001).

As propriedades físicas (estrutura, textura, permeabilidade e densidade) e químicas do solo proporcionam menor ou maior resistência aos processos erosivos. De acordo com Silva (1995), os solos arenosos, apesar da capacidade de infiltração, são mais suscetíveis à erosão por serem mais soltos, o que facilita a ação da água. Em contrapartida, solos com maior volume de macro poros reduzem o escoamento superficial e, conseqüentemente, o processo erosivo, por facilitarem a penetração da água.

Estudos como os de Bezerra et al. (2004), Lollo, Vivanco e Santos (2013), Simões e Oliveira (2014), Torres et al. (2014), Pereira e Cestaro (2015) e Pittelkow et al. (2015), refletem sobre a relação da urbanização desordenada e dos processos erosivos, principalmente nas áreas dos limites urbanos, ou seja, nas fronteiras de expansão. A impermeabilização do solo pelas construções aumenta a propensão dessas áreas à erosão. Os processos erosivos ocorrem a todo momento e em quase todas as partes

do mundo, porém, as áreas mais afetadas, de acordo com Guerra e Botelho (1996), são as rurais, devido a práticas de desmatamento e queimadas para realização de atividades agropastoris.

Neste contexto, estudos que mapeiam áreas suscetíveis à erosão são de extrema importância na contribuição do ordenamento do território, podendo ser utilizados na delimitação do zoneamento urbano e em legislações e objetos de regulação do município. A utilização de técnicas de geoprocessamento associadas com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permitem o cruzamento e ponderação de fatores determinantes para a suscetibilidade à erosão de forma a gerar o mapeamento para análises mais acuradas (Ribeiro; Alves, 2008; Costa Filho et al., 2015; Pereira; Gouveia, 2019; Dotto; Gaberti; Robaina, 2023; Santos et al., 2024).

Um método utilizado dentro do SIG que tem por premissa a criação de uma hierarquia de decisão e que permite a criação de uma visão mais ampla, considerando os atributos analisados e seus respectivos níveis de importância, é o AHP - *Analytic Hierarchy Process*, ou Processo Analítico Hierárquico. Este modelo foi desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty para tomadas de decisão. O método AHP de Saaty (1980) é baseado na proposição de uma matriz de comparação par a par (*pairwise comparison*) em que os diversos fatores que compõem e influenciam na demanda a ser analisada são organizados de maneira hierárquica e são comparados entre si. A relação entre esses critérios recebe um peso que expressa a priorização de um fator sobre o outro (Silva; Nunes, 2009).

Este trabalho teve como propósito o desenvolvimento de mapas em ambiente SIG, com aplicação do método AHP, com o intuito de analisar as relações entre os fatores que contribuem para os processos erosivos, a fim de identificar as áreas mais propensas à erosão no município de Cruzeiro – SP.

METODOLOGIA

O município de Cruzeiro está localizado no estado de São Paulo, Brasil, e encontra-se na latitude 22°34'14" S e na longitude 44°57'49" O, situado na Mesorregião do Vale do Paraíba Paulista e da Microrregião de Guaratinguetá. Geograficamente, Cruzeiro – SP situa-se em uma região montanhosa, próxima à Serra da Mantiqueira e sua população é de 74.961 habitantes, segundo o censo 2022 do IBGE, abrangendo uma área de 305.699 km².

Para a ponderação sobre a suscetibilidade à erosão no território do município é necessária a elaboração de produtos intermediários como auxílio na análise final. Sendo assim, foram mapeados quatro critérios que influenciam na determinação do processo erosivo, sendo eles: declividade, pedologia e uso e ocupação do solo. Para o processamento e geração de dados e mapas foi utilizado o *software* de geoprocessamento QGIS 3.28.6.

A metodologia deste trabalho pode ser resumida em três etapas: a) elaboração dos mapas de declividade, pedologia e uso e ocupação do solo; b) ponderação de cada critério das classes de cada mapa; e c) sobreposição dos critérios.

O mapa de declividade foi classificado pela metodologia da EMBRAPA (Santos et al., 2018), sendo os dados altimétricos obtidos no Portal TOPODATA INPE. Para o mapa

pedológico foi utilizado os dados obtidos no Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) do IBGE, do ano de 2023. O mapa utilizado foi gerado na escala 1:1.000.000, a metodologia de geração das informações pedológicas segue os parâmetros determinados no Manual Técnico de Pedologia, elaborado pelo IBGE.

A análise de uso e ocupação do solo foi feita pela metodologia de classificação de imagem, na qual os *pixels* são definidos por decisão em classes. A partir disso, o processo realizado consiste no reconhecimento de padrões na área de estudo, sendo a escolha das amostras feitas de maneira supervisionada. O mapa de uso e ocupação do solo foi produzido utilizando imagens do satélite Landsat 8 nas bandas 4,5,6, 8 e 9.

Para atribuir pesos às classes de cada critério, foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* de autoria de Saaty (1991), que emprega uma matriz de comparação par a par. Neste método, os pesos dos fatores que influenciam a tomada de decisão são determinados. A comparação dos fatores é feita com base em uma escala de importância relativa, conforme apresentado na Tabela 01.

Tabela 01: Escala de importância relativa

Escala numérica	Escala verbal
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro
5	Importância essencial
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

O mapa de suscetibilidade a erosão foi elaborado utilizando o método AHP, conforme a seguinte sequência de ponderação e critérios: 1) declividade + pedologia; 2) mapa resultante + uso e ocupação do solo. As ponderações utilizadas nos critérios, para cada uma das classes estão explicitadas na Tabela 02, os pesos utilizados foram adotados de acordo com consulta a profissionais da área.

Tabela 02: Peso de cada variável adotado no processo de ponderação

Suscetibilidade à erosão			
Variável	% Importância	Classes	Peso
Declividade	40%	0 a 3	1,00
		3 a 8	1,00
		8 a 20	3,00
		20 a 45	5,00
		45 a 75	7,00
		> 75	9,00

Continua

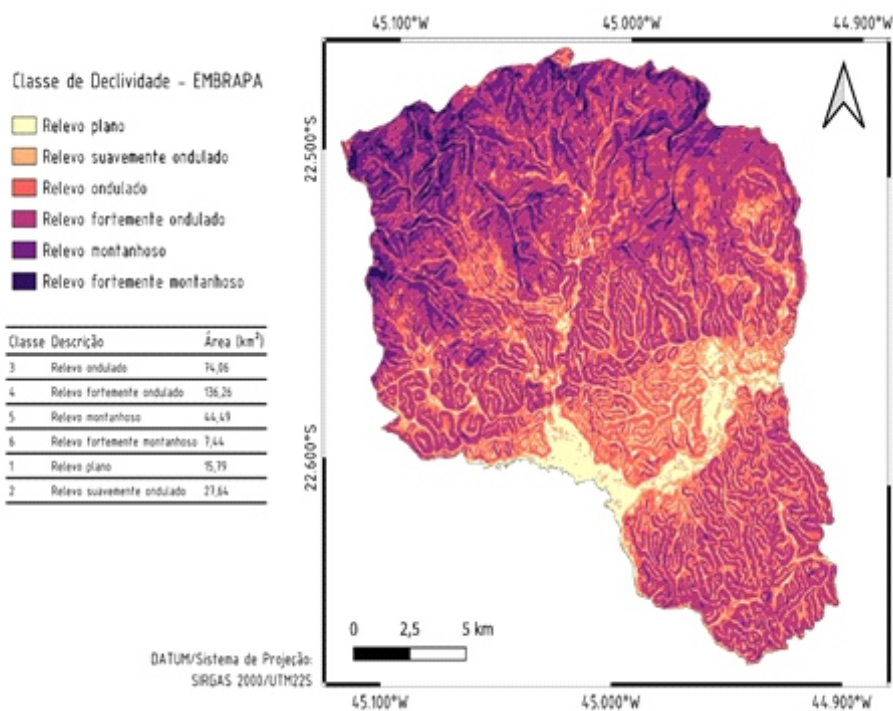
Continuação

Susceptibilidade à erosão			
Variável	% Importância	Classes	Peso
Pedologia	30%	Latossolo Amarelo Distrófico	1,00
		Latossolo Amarelo Ácrico	1,00
		Cambissolo Háplico Distrófico	6,00
		Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,00
Usos do Solo	30%	Floresta Densa	1,00
		Vegetação Secundária	2,00
		Reflorestamento/Eucalipto	3,00
		Zona Urbana	6,00
		Agropecuária/Pastagem	9,00

RESULTADOS E DISCUSSÃO

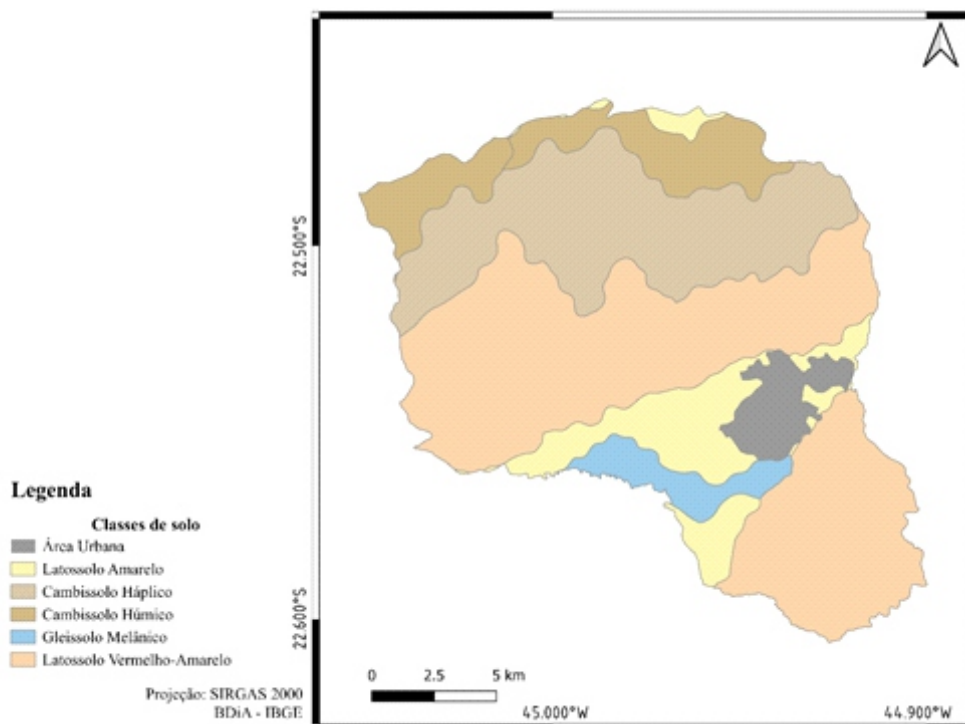
Pelo mapa de declividade, Figura 01, pode-se observar que a maior parte do território é composta por relevo ondulado e fortemente ondulado. Tem-se, entretanto, que a zona urbana é caracterizada por um relevo plano e suavemente ondulado. O terreno do município é, por si só, um ponto relevante para que a erosão seja monitorada em relação à utilização do solo, principalmente quando se lida com expansão urbana.

Figura 01: Mapa de declividade do município de Cruzeiro – SP



Os tipos de solo presentes no município de Cruzeiro – SP podem ser visualizados no mapa pedológico da Figura 02. Observa-se que a área urbana está concentrada em região de Latossolo amarelo. Esse tipo de solo possui boa drenagem, o que teoricamente é um aspecto favorável no controle da erosão, pois facilita a percolação de água. No entanto, o Latossolo Amarelo, pode apresentar maior ou menor suscetibilidade à erosão quando associado a características do relevo, como declividade, além de fatores relacionados à ocupação e ao uso do solo.

Figura 02: Mapa pedológico do município de Cruzeiro – SP



Há uma considerável área de Gleissolo melânico entre o Latossolo Amarelo e próximo à área urbana. Esse tipo de solo é caracterizado por sua formação em área de saturação de água, sendo encharcado de forma permanente ou periódica e tende a estar em áreas com menor declividade (como confirmado pelo mapa da Figura 01).

A área urbana do município é destacada na Figura 03 pelo mapa de uso e ocupação do solo, informação de extrema relevância na determinação da dinâmica de erosão do solo.

O uso e ocupação do solo resultantes da intervenção antrópica são fatores determinantes nos processos erosivos. Áreas com maior declividade e ocupação humana tendem a apresentar uma suscetibilidade elevada à erosão do terreno.

A maior parte do terreno é caracterizada por áreas montanhosas, enquanto as áreas que não se enquadram nesse perfil foram modificadas por intervenções humanas. Essas intervenções resultam na deterioração das características do solo, especialmente no que diz respeito à cobertura vegetal, deixando o solo exposto e mais vulnerável à erosão.

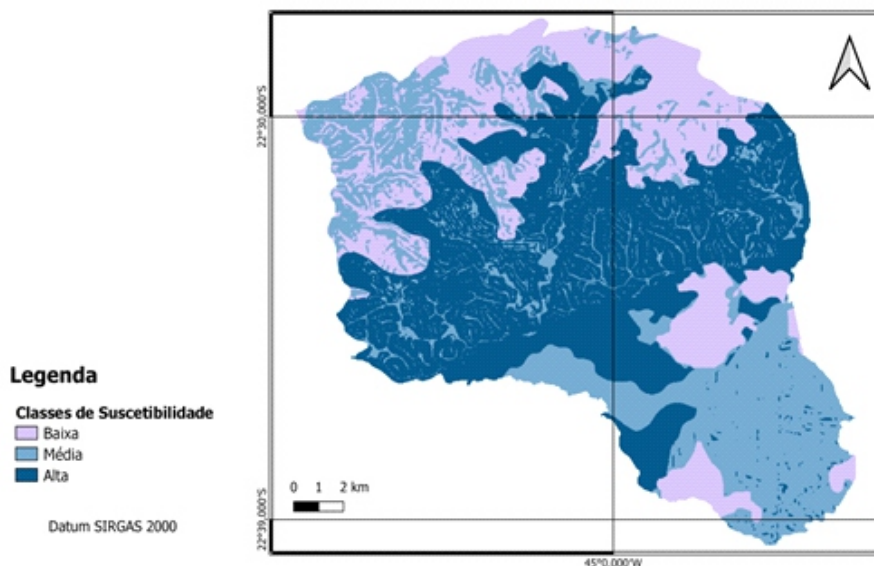
Figura 03: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Cruzeiro – SP



Considerando que os limites das classes de suscetibilidade à erosão estão alinhados com os limites das classes dos demais fatores analisados, a identificação precisa do fator predominante na suscetibilidade à erosão exigiria um mapa em uma escala mais detalhada. Isso também contribuiria para avaliar se o risco de erosão permanece no mesmo nível ou se existem variações significativas.

O método escolhido para ponderação das variáveis no *software* QGIS permite como entrada apenas dois critérios por vez, para uma melhor análise. Portanto, utilizou-se, primeiramente, a ponderação dos fatores declividade e pedologia, gerando um primeiro mapa de suscetibilidade. Após, ponderou-se este mapa resultante com o fator uso e ocupação do solo, obtendo-se assim, o mapa final de suscetibilidade à erosão (Figura 04) que considerou os três principais fatores escolhidos. As análises realizadas no presente artigo foram executadas de maneira similar por Pereira e Gouveia (2019), Dotto (2023), Santos et al. (2024).

Figura 04: Mapa de Suscetibilidade a Erosão (Declividade/Pedologia/Use e Ocupação)



Nota-se, pelo mapa final de suscetibilidade à erosão, que a área de Gleissolo configura-se com média suscetibilidade à erosão. Os Gleissolos realmente não são típicos de alta erodibilidade, porém a proximidade com áreas urbanas e de Latossolo Amarelo pode aumentar o escoamento e, conseqüentemente, os processos erosivos. Portanto, é uma área que requer atenção, principalmente pelo seu potencial alagável.

Considerando-se os três fatores, as áreas montanhosas com alta declividade, sem nenhum impacto humano, apresentam baixo risco de erosão, o que é coerente com o cenário de uma área de floresta nativa. As áreas com alto risco de erosão envolvem, principalmente, regiões de Latossolo Vermelho-Amarelo nas quais se localizam vegetação rasteira, pastagem e solo exposto, caracterizadas, portanto, por baixa cobertura vegetal, juntamente com algum índice de declividade, o que indica que o uso do solo é um dos fatores mais relevantes para o processo erosivo, assim como constatado por Pereira (2019) e Santos et al. (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações obtidas no estudo possibilitam a conclusão de que ocupações inadequadas na maior parte do município de Cruzeiro – SP favoreceram a ocorrência de processos erosivos, o que vem a ser um fator relevante a ser considerado no planejamento da expansão urbana. A maior área da região estudada se encontra em áreas de preservação e de mata nativa ou que foi degradada, o que implica na necessidade de preservação ou restauração desse território.

O geoprocessamento, portanto, se destaca como uma ferramenta essencial para estudos de planejamento urbano, especialmente considerando que a ocupação inadequada do solo é um fator chave na ocorrência de desastres ambientais, como deslizamentos. Além disso, os processos erosivos estão frequentemente associados à degradação das bacias hidrográficas, o que impacta diretamente a qualidade da água.

O manejo adequado da vegetação é crucial para controlar a erosão, e a interação com o tipo de solo deve ser considerada em qualquer planejamento de uso da terra. Por fim, é importante destacar que, embora os três fatores analisados neste artigo tenham um impacto significativo no processo de erosão, eles não são os únicos que devem ser considerados em estudos de fragilidade do solo e suscetibilidade à erosão. Portanto, os procedimentos realizados neste estudo representam um ponto de partida para a compreensão do cenário em uma escala macro territorial.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro às bolsas de mestrado e à União pelos recursos dos programas de pós-graduação da Universidade Federal de Itajubá.

REFERÊNCIAS

ANDRADA E SILVA, J. B. Memória sobre a necessidade e utilidade do plantio de novos bosques. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1925.

BEZERRA, J. F. R.; MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. T.; FEITOSA, A. C. Estudo do uso e ocupação do solo como condicionante aos processos erosivos no município de São Luís, Maranhão. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Porto Alegre, 2004.

COSTAFILHO, F. A.; BELTRÃO, A. S. S.; MORALES, G. P.; RIBEIRO, H. M. C.; VERA, M. A. P. Análise de suscetibilidade erosiva no município de Barcarena – PA. Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 22, 2015.

CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: Inpe, 2001.

DOTTO, A. V. E.; GABERTI, M. M.; ROBAINA, L. E. S. Aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) para o Mapeamento de Suscetibilidade ao Voçorocamento no município de Capão do Cipó–RS/Brasil. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia, n. 60, 2023.

EMBRAPA SOLOS. Mapeamento da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros em função da dinâmica de uso e cobertura da terra – Subsídio às políticas de conservação de solo e água conduzidas pelo MAPA. 2020. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/3a%20edicao%20premio%20mapbiomas/PREMIO_MAPBIOMAS_VulnerabilidadeErosao_FINAL_-_Margareth_Simoes.pdf. Acesso em: 06/06/2023.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, p. 93-114, 1996.

HERNANI, L. C. et al. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 5, p. 47-60.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa - recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J.; JORGE, M. C. O. Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. cap. 1, p. 7-28.

JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. O Método De Análise Hierárquica – Ahp – Como Auxílio Na Determinação Da Vulnerabilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Piedade (MG). Revista do Departamento de Geografia - USP. v.23, n.1, p. 4-26, 2012.

LOLLO, J.A.; VIVANCO, J.M.C.; SANTOS, F.M. Cartas de suscetibilidade a erosão e a inundações para área de expansão urbana de Ilha Solteira/SP como subsídio ao planejamento territorial urbano. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 20. 2013. Bento Gonçalves. 2013.

PEREIRA, G. S.; GOUVEIA, I. C. M. Suscetibilidade à erosão linear no município de Álvares Machado – São Paulo. Revista GeoUECE, v. 8, n. 15, p. 111-123, 2019.

PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. Mapeamento De Áreas Potenciais À Erosão Laminar No Município De Tibau Do Sul/RN, Brasil. Geoambiente On-line, n. 24, 2015.

PINTO, C. T.; OLIVEIRA, P. V. C.; PONZONI, F. J.; CASTRO, R. M. Identificação de áreas susceptíveis a processos erosivos na região do Vale do Paraíba. In: ANAIS XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 17., 2015, João Pessoa. 2015.p.67-74.

PITTELKOW, G. C.; CARDIAS, M. M.; GOMES, T. C.; NUMMER, A. V. Erosão urbana e formas de investigação: uma revisão. 2015. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/plutao/2015/12.04.11.28.20/doc/EROS%C3%83O%20URBANA%20E%20FORMAS%20DE%20INVESTIGA%C3%87%C3%83O-%20uma%20revis%C3%A3o%20-XVI_SBGFA_Pitt_.pdf. Acesso em: 25/05/2023.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. Análise de suscetibilidade à erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, v. 6, n. 1, p. 89-100, 2008.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGrawHill, Makron, São Paulo, SP, 1991.

SANTOS, A. C. F.; VITAL, S. R. O.; SANTOS, C. L.; SANTOS, H. N. F. Morfodinâmica e suscetibilidade à erosão hídrica no município de Cacimba de Dentro, semiárido paraibano. Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), v. 26, n. 1, p. 103-122, 2024.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, C. A. da; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, 2009. pp. 5435-5442.

SILVA, M. S. L da. Estudos da erosão. EMBRAPA-CPATSA, 1995.

SIMÕES, P. M. L.; OLIVEIRA, C. V. Avaliação da susceptibilidade à erosão e aos movimentos de massa no município de Ibité. Geonomos, v.22, n.1, p.22-30, 2014.

TORRES, F. T. P.; PIRES, L. V.; JÚNIOR, S. A.; OLIVEIRA, N. A.; BARROS, K. O.; PORTUGUAL, C. R. M.; SILVA, E. A susceptibilidade à erosão como subsídio ao planejamento urbano: estudo de caso do município de Ubá. Revista Agrogeoambiental. v.6, n.1, p.88-99, 2014.

INVESTIGAÇÃO DA BIOENERGIA NO BRASIL: Mapeamento e contribuições ao suprimento energético nacional

Energias Renováveis e possibilidades de aplicação

Tales Renato de Lima Antônio
Aluno de iniciação científica do curso de
Engenharia Elétrica, Universidade Federal de
Itajubá (Unifei) – Instituto de Sistemas Elétrica e
Energia (ISSE)
d2022006640@unifei.edu.br

Cláudia Eliane da Matta
Profa. Dra. da Universidade Federal de Itajubá (Unifei)
Instituto de Sistemas Elétrica e Energia (ISSE)
claudia.matta@unifei.edu.br

Resumo

A bioenergia é uma forma de energia renovável obtida a partir da biomassa, que inclui matéria orgânica de origem vegetal ou animal. No Brasil, a bioenergia desempenha um papel crucial na matriz energética, destacando-se pelo uso de recursos agrícolas como, bagaço de cana, carvão vegetal, gás de alto forno-biomassa, lixívia e lenha para a geração de eletricidade (bioeletricidade) e biocombustíveis, como o etanol. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento dos projetos de bioenergia no Brasil e investigar o percentual de consumo de energia atendido por essa fonte renovável. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa exploratória com abordagem quantitativa, utilizando dados do parque gerador nacional para mapear as unidades de geração com o *software* livre e de código aberto QGIS. Os resultados destacam uma tendência de crescimento na penetração de bioenergia no país, com o Sudeste se destacando como principal gerador e líder em número de empreendimentos dessa fonte de energia. Desse modo, o estudo proporciona uma visão geral do panorama da bioenergia no contexto energético brasileiro.

Palavras-chave: Brasil; Bioenergia; Mapeamento; *Software* Livre.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa insere-se no contexto geração de energias limpas, em que a presença das energias renováveis, dentre elas, a bioenergia, é cada vez maior devido ao seu potencial sustentável e à abundância de recursos naturais disponíveis no Brasil.

Produtos de base biológica, como a bioeletricidade e os biocombustíveis, são o resultado direto da conversão de resíduos agrícolas e florestais a partir

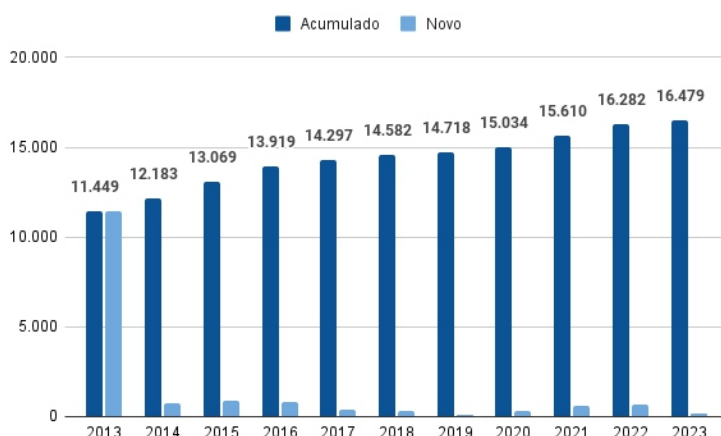
de processos básicos bioquímicos, químicos e termoquímicos (Razm et al., 2021). Desta forma, a biomassa, matéria orgânica utilizada com a finalidade de produzir energia, quando cultivada de maneira sustentável, pode desempenhar um papel importante como matéria-prima na produção de energia, destaca-se que a fonte renovável obtida a partir da biomassa é chamada de bioenergia.

A importância do Brasil no mercado global de biomassa é crucial devido à sua extensa produção agrícola, especialmente de culturas como a cana-de-açúcar, uma fonte essencial para a indústria de bioetanol. Além disso, o país possui vastas áreas de savanas aráveis, o que o coloca em uma posição favorável para expandir a produção dessas matérias-primas sem ameaçar o desmatamento. O setor agrícola brasileiro também representa uma fonte significativa de resíduos e matérias-primas para a indústria de bioenergia (Welfle, 2017).

No Brasil, a bioeletricidade atingiu 8,2% de participação na geração de eletricidade em 2022, sendo composta majoritariamente por bagaço de cana e lixívia. A geração de bioeletricidade teve seu pico em 2020 quando atingiu o pico de produção de 58.742 GWh, mas se manteve em um patamar de 55.297 no ano de 2022, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2023).

Além disso, observa-se, também, a evolução da bioenergia no Brasil ao longo dos anos por meio dos dados de capacidade instalada de biomassa de 2013 a 2023 (EPE, 2024). A partir desse gráfico, podemos verificar a tendência de crescimento dessa fonte energética, oferecendo uma maneira visual e intuitiva para apresentação dessa informação. É importante destacar que, conforme os dados utilizados para a construção da Figura 1, a biomassa considerada inclui bagaço de cana, carvão vegetal, gás de alto-forno proveniente de biomassa, lixívia e lenha.

Figura 1: Evolução da capacidade instalada da bioenergia em MW.



Fonte: Autoria própria.

Face aos problemas socioambientais resultantes do uso dos combustíveis fósseis e tendo em vista a participação da bioenergia na matriz energética brasileira como uma alternativa promissora para produção de energia de forma sustentável, o objetivo deste artigo é apresentar o mapeamento dos projetos desta fonte renovável no Brasil e

investigar qual o percentual de consumo de energia atendido por essa fonte renovável.

Assim, este trabalho tem como contribuição fornecer um panorama acerca da questão energética atual da bioenergia, ressaltando seu papel para o desenvolvimento econômico, o acesso a serviços essenciais, o avanço tecnológico e a sustentabilidade ambiental.

METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa exploratória, com abordagem quantitativa, que tem como finalidade elucidar quais contribuições das fontes de energias renováveis para o suprimento energético brasileiro, para tanto buscou realizar o mapeamento dos projetos de energias renováveis no Brasil.

Mapas e outros gráficos de dados podem desempenhar um papel relevante na geração de ideias e hipóteses no início de um projeto. São úteis como parte de análises para avaliar os resultados do modelo e, em seguida, no final de um projeto, quando os investigadores apresentam os seus resultados e conclusões a públicos variados (Brewer, 2006).

O mapeamento é uma forma relevante de identificação, análise e implementação eficaz das energias renováveis. Utilizando técnicas específicas, como a análise espacial de dados de energia com modelagem de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível visualizar e compreender a distribuição dessas fontes de energia em diferentes regiões (Quan; Bansal, 2021).

O mapeamento do potencial das energias renováveis usando dados geoespaciais auxilia na tomada estratégica de decisões. Bem como, estimar a capacidade de geração de energia em diferentes regiões, contribuindo para o planejamento sustentável de energia (Ramachandra; Shruthi, 2005).

Para realizar o mapeamento foi selecionado o *software* livre e de código aberto QGIS, um sistema de informações geográficas que oferece suporte à visualização, edição e análise de dados geoespaciais. Essa escolha se deu para possibilitar que as instituições de ensino e os estudantes não tenham uma dependência permanente de um único produto ou uma empresa poderosa específica (*Free Software Foundation*, 2024).

Para realização do mapeamento, foi realizada a aquisição do mapa das unidades federativas do Brasil no site do IBGE (2023) e inserido no QGIS para o desenvolvimento do estudo. Com isso, seguimos com a busca dos dados acerca da geração de energia elétrica e a localização das instalações em operação de bioenergia no Brasil.

O critério para a coleta do conjunto de dados foi determinado com base na necessidade de informações que forneciam noções acerca da geração de energia elétrica do parque gerador nacional em diversas fases. Portanto, os dados foram selecionados no site de dados abertos da Agência Brasileira de Energia Elétrica (ANEEL), onde, entre os dados abertos disponíveis, o Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA, 2024) foi escolhido.

Em seguida, com o conjunto de dados selecionado, aplicou-se filtros para selecionar os dados de interesse. Nesse processo, restringimos as informações para identificar especificamente os projetos em operação a fim de mapear a distribuição das instalações, bem como a potência fiscalizada gerada nos estados do Brasil, visando compreender a contribuição da bioenergia na matriz energética nacional.

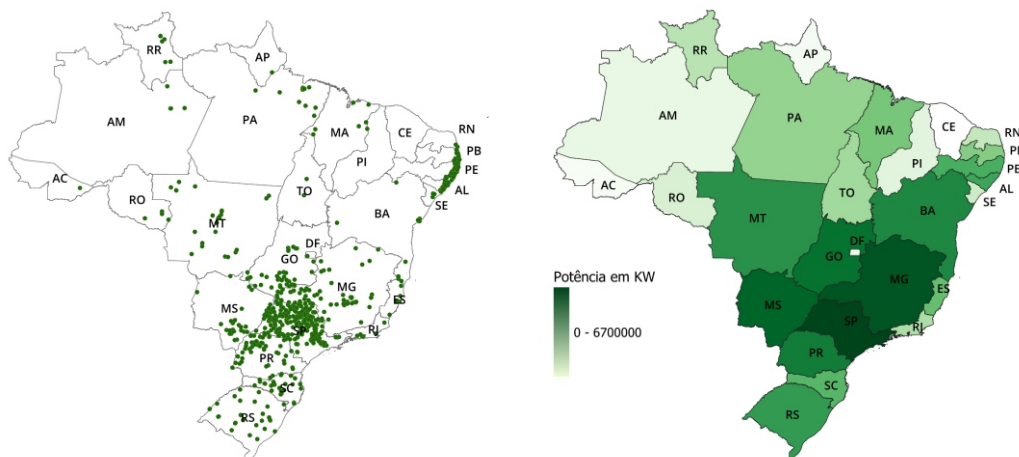
Por fim, utilizando o QGIS, os dados foram processados para o desenvolvimento dos mapas. As localizações dos empreendimentos foram representadas por pontos no mapa do Brasil. Além disso, vale ressaltar que o mapeamento das localizações dos empreendimentos foi realizado utilizando o Sistema Geodésico de Referência Oficial do País (SIRGAS2000).

O mapa de potência foi elaborado utilizando um gradiente de cores, onde as tonalidades mais escuras indicam uma maior concentração de potência elétrica. A potência de cada estado reflete a soma da geração elétrica de todas as instalações localizadas dentro dos limites dessa unidade federativa. Ressalta-se que o mapeamento da potência elétrica gerada por cada fonte renovável nas instalações em diferentes estados brasileiros, a abordagem adotada envolveu a utilização da potência elétrica fiscalizada, onde refere-se à potência elétrica total instalada em um estabelecimento ou instalação que está sujeita a fiscalização por parte das autoridades competentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os amplos recursos e as condições favoráveis existentes e visando entender a distribuição dos recursos de geração de bioenergia nos estados brasileiros, foram elaborados mapas acerca da localização dos empreendimentos e da potência elétrica fiscalizada nos estados brasileiros no software QGIS.

Figura 2: Bioenergia, (a) projetos em operação nos estados brasileiros e (b) Geração de potência elétrica fiscalizada em KW por UF.



Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar o mapa apresentado na Figura 2 (a), nota-se que os empreendimentos de bioenergia estão predominantemente concentrados na região sudeste, com São Paulo liderando como o estado que possui o maior número de pontos de geração no país, seguido por Minas Gerais. Nas demais regiões, a Centro-Oeste e Sul destacam-se com áreas com boas quantidades de empreendimentos de bioenergia, enquanto o Norte e Nordeste apresentam menor representatividade na geração dessa fonte de energia.

Ao examinar a Figura 2 (b), constata-se que o Sudeste desempenha um papel crucial na geração de potência elétrica por meio de bioenergia no Brasil, destacando-se na matriz energética nacional para essa fonte.

Durante a construção dos mapas, observamos que, de acordo com os dados utilizados, existem 638 empreendimentos de bioenergia em operação distribuídos pelos estados do Brasil em 2024. Além disso, essas instalações somam uma potência fiscalizada total de 16.783.314 kW.

Apesar deste potencial e dos abundantes recursos de biomassa no Brasil, vale salientar que uma das principais preocupações de sustentabilidade relacionadas com a crescente procura de bioenergia refere-se aos impactos do cultivo de matérias-primas para biocombustíveis na biodiversidade (Immerzeel et al., 2014).

A utilização de biomassa como matéria-prima bioenergética pode afetar a biodiversidade através de uma variedade de forças motrizes, incluindo alterações no uso da terra, sobre-exploração, poluição, espécies invasoras e alterações climáticas (Repo et al., 2012). Devido a isso, é importante conciliar a expansão da bioenergia com a conservação da biodiversidade para mitigar os impactos negativos do cultivo de matérias-primas na produção de energia (Immerzeel et al., 2014).

Para enfrentar esses desafios, práticas sustentáveis na produção de bioenergia devem ser adotadas, considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos (Rutkowska; Bartoszczuk; Singh, 2021). Essa abordagem é essencial para garantir que a produção de bioenergia não apenas atenda à demanda crescente por energia limpa, mas também preserve os recursos naturais.

Desse modo, para que a bioenergia cumpra seu potencial como uma solução energética no Brasil, é fundamental um compromisso com práticas de produção sustentáveis. Essas práticas são essenciais para assegurar que a bioenergia se integre de forma eficaz na transição energética, que busca diversificar a matriz energética do país, substituindo gradualmente as fontes convencionais por alternativas mais limpas e sustentáveis (Anjos, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo apresentar o mapeamento dos empreendimentos de bioenergia no Brasil e investigar o percentual de consumo de energia atendido por essa fonte renovável para, então, obter um panorama energético da geração em questão no território nacional.

Os resultados demonstram um crescimento contínuo dessa fonte de energia limpa. O mapeamento da bioenergia no Brasil revela uma concentração dos empreendimentos e geração de potência no Sudeste brasileiro.

O mapeamento teve um papel crucial neste estudo, uma vez que proporciona uma visão geral da distribuição da bioenergia e direciona o foco a ser explorado. Essa abordagem não apenas facilita a compreensão dos dados, mas também oferece uma boa visualização da distribuição da fonte de energia no panorama energético nacional.

Finalmente, dado que esta temática apresenta desafios que abrangem dimensões sociais, econômicas, tecnológicas, ambientais e institucionais, para trabalhos futuros, sugere-se investigar estratégias sustentáveis para um cenário de transição energética para a bioenergia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e a Universidade Federal de Itajubá (Unifei).

REFERÊNCIAS

ANJOS, M. M. O papel das energias renováveis no processo de transição energética do estado de minas gerais: modelagem de sistemas energéticos para o horizonte 2030-2050. Dissertação (Pós-graduação Em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

BREWER, C. A. Basic Mapping principles for visualizing cancer data using geographic information systems (GIS). *American Journal of Preventive Medicine*, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. S25–S36, fev. 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749379705003582>. Acesso em: 15 nov. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. EPE, 2024. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2023. EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em 19 de julho de 2024.

FREE SOFTWARE FOUNDATION. What is Free Software? GNU Project, 2024. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.en.html>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

HOUT, K. Bezuiden. Climate change mitigation at city level through the lens of South Africa's regulatory framework for bioenergy. *Potchefstroom Electronic Law Journal (PELJ)*, v. 26, n. 1, p. 1–32, 2023. Disponível em: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1727-37812023000100022&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 6 ago. 2024.

IMMERZEEL, D. J.; VERWEIJ, P. A.; HILST, F.; FAAIJ, A. P. C. Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *GCB Bioenergy*, Hoboken, v. 6, n. 3, p. 183–209, abr. 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12067>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malhas Territoriais. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 4 de agosto de 2024.

QUAN, S. J.; BANSAL, P. A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies. *Building and Environment*, Amsterdam, v. 196, p. 1-16, jun. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132321001980>. Acesso em: 15 nov. 2023. RAMACHANDRA, T. V.; SHRUTHI, B. V. Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS. *Energy Conversion and Management*, Amsterdam, v. 46, n. 9–10, p. 1561–1578, jun. 2005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890404001979>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RAZM, S.; DOLGUI, A.; HAMMAMI, R.; BRAHIMI, N.; NICKEL, S.; SAHEBI, H. A two-phase sequential approach to design bioenergy supply chains under uncertainty and social concerns. *Computers & chemical engineering*, Amsterdam, v. 145, p. 1-24, fev. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098135420304506>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

RUTKOWSKA, M.; BARTOSZCZUK, P.; SINGH, U. Management of green consumer values in renewable energy sources and eco innovation in India. *Energies*, Basel, v. 14, n. 21, p. 1-17, out. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7061>. Acesso em: 23 fev. 2024.

SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Dados Abertos ANEEL, 2024. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 22 fev. 2024.

WELFLE, A. Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 105, p. 83–95, out. 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953417301976>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

POSSIBILIDADES DE ALFABETIZAÇÃO ENERGÉTICA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: Uma revisão sistemática da literatura

Energias Renováveis e possibilidades de aplicação

Cláudia Eliane da Matta

Professora Doutora; Universidade Federal de Itajubá; Instituto de Sistemas Elétricos e Energia;
e-mail: claudia.matta@unifei.edu.br

Aisla Carole de Souza Cavalcante

Aluna do curso de Engenharia Elétrica em 2024; Universidade Federal de Itajubá; Instituto de Sistemas Elétricos e Energia;
e-mail: d2023010988@unifei.edu.br

Giovana de Paula Sanfelice

Aluna do curso de Engenharia Elétrica em 2024; Universidade Federal de Itajubá; Instituto de Sistemas Elétricos e Energia;
e-mail: d2023012900@unifei.edu.br

Resumo

No momento da atual crise energética global, a educação para a sensibilização energética nas escolas é cada vez mais importante. Neste sentido, o objetivo deste artigo é investigar as possibilidades de inserção das energias renováveis no contexto escolar. Esta é uma pesquisa qualitativa, na qual foi feita uma revisão sistemática da literatura. Após uma revisão sistemática da literatura, seis artigos foram analisados. Os resultados indicam que há modelos de aprendizagem; ambientes de aprendizagem fora da escola; tipos estratégias de ensino, como o uso de questões sociocientíficas e uso de livros didático de ciências que ajudam a educar sobre consciência energética; e um currículo contextualizado que apoie as atitudes ambientais dos estudantes são possibilidades de alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis no contexto escolar.

Palavras-chave: Educação em Ciências; Energias Renováveis; Revisão Sistemática da Literatura; Educação Energética.

INTRODUÇÃO

As energias renováveis são significativamente essenciais, devido ao aumento do consumo de energia, e porque as fontes convencionais de energia não são suficientes para atender a oferta e a demanda, desencadeando uma crise energética (Jabeen et al., 2020).

O fornecimento de energia é responsável por cerca de 60% das emissões globais de gases de efeito estufa. Embora cerca de 17% do consumo de energia seja atendido com fontes renováveis, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças

Climáticas, do inglês The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023) alerta que até 2050, as fontes de energia renováveis deverão atender cerca de 85% para evitar os piores impactos das mudanças climáticas.

A educação para o uso correto e eficaz dos recursos energéticos é de grande importância e conservação de energia é uma questão vital com a qual muitos países têm de lidar com o objetivo de reduzir o consumo de energia (Rohmatulloh et al., 2022; Çelik, 2021). As pessoas que estão cientes dos recursos de energia renovável são sensíveis ao uso correto e eficaz da energia (Yenice e Tunç, 2018).

Deste modo, a alfabetização energética como estratégia de conservação de energia atraiu a atenção de vários países, conforme demonstrado na execução de programas e atividades de alfabetização energética envolvendo crianças em idade escolar em sua busca educacional (Rohmatulloh et al., 2022).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é investigar as possibilidades de alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis no contexto escolar. As discussões propostas são oriundas de resultados de uma revisão sistemática da literatura na base de dados Educational Resources Information Center (ERIC).

METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa qualitativa, na qual foi feita uma revisão sistemática da literatura. Para este estudo preliminar, foi escolhida a base de dados ERIC por sua confiabilidade e relevância para a pesquisa no campo da educação. A pesquisa na base de dados foi realizada no mês de julho de 2024. O desenvolvimento metodológico deste estudo teve como orientação a revisão sistemática da literatura (Livschitz; Dream, 2023).

Desta forma, a primeira etapa foi desenvolver uma pergunta de pesquisa de maneira clara e específica e que abordasse uma lacuna na literatura atual. Esta pergunta foi “Quais são as possibilidades de inserção das energias renováveis no currículo escolar?”.

A segunda etapa consistiu em formular um protocolo para identificar trabalhos relevantes, conforme o Quadro 1.

Quadro 01 – Protocolo adotado para a revisão sistemática da literatura.

Critério	Inclusão (CI)	Exclusão (CE)
Tópico de estudo	Estudos que discutem sobre energias renováveis, educação energética e educação ambiental ou educação em geral que se referem aos três tópicos mencionados acima. (CI1)	Estudos na forma de revisões da literatura sobre energias renováveis. (CE1)
	Estudos realizados no ensino fundamental ou médio. (CI2)	Estudos realizados no jardim de infância ou no ensino superior. (CE2)

Continua

Continuação

Critério	Inclusão (CI)	Exclusão (CE)
Tipo de documento	Artigos de resultados de pesquisas publicados em revistas científicas. (CI3)	Estudos na forma de dissertações ou teses resumidas, conferências ou editoriais, livros, resenhas de livros, notas editoriais, notícias e relatórios. (CE3)
		Sem revisão por pares. (CE4)
		Indisponível para acesso em textos completos. (CE5)
Língua		Em outro idioma que não o inglês (CE6)
Período	Estudos publicados no período de 2015 a 2024 (CI4)	Estudos anteriores a 2015. (CE7)

Fonte: Os autores (2024).

Na terceira etapa, aplicamos o protocolo para pesquisar e gerar uma lista abrangente de todos os estudos relevantes. Para pesquisar publicações, usamos os termos em inglês para as palavras-chave “aplicação” ou “aplicações”, “educação” e “energias renováveis” ou “energia renovável”, unidas pelos operadores lógicos “and” ou “or”. Portanto, a sequência de busca para recuperação de registros foi: ‘abstract:((application OR aplicativos) AND education AND (“renewable energies” OR “renewable energy”))’. A seleção inicial de artigos foi baseada nos artigos que continham estas palavras em seus resumos.

A quarta etapa envolveu a aplicação metódica e estrutural dos critérios de seleção descritos no protocolo para restringir a pesquisa inicial a um grupo final.

A quinta etapa foi avaliar a qualidade dos artigos e extrair dados de cada estudo de forma padronizada. Os artigos selecionados foram catalogados em uma tabela contendo: título do artigo, ano, palavras-chave, resumo e objetivo.

Os resumos foram lidos para identificar estratégias de inserção das energias renováveis no currículo escolar, e os artigos selecionados foram lidos e analisados para apresentar os resultados obtidos, que consistiam na sexta etapa desta revisão.

RESULTADOS EDISCUSSÃO

A pesquisa na base de dados ERIC produziu inicialmente 239 estudos. Após a aplicação dos critérios de exclusão CE4, CE5 e CE6 resultaram em 23 estudos de possível interesse. Após a delimitação do lapso temporal, no qual foi aplicado o critério de exclusão CE7, resultou em 17 estudos. Posteriormente, os títulos, os resumos e as palavras-chave dos artigos restantes foram cuidadosamente examinados para identificar aqueles que discutiam as possibilidades de alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis no contexto escolar, nos quais foram aplicados os critérios de exclusão CE1, CE2, CE3. Finalmente, após uma

leitura mais acurada, consideramos que seis estudos atendiam ao interesse final desta revisão, descritos no Quadro 02.

A pesquisa relata a integração da educação ambiental na matéria de ciências, no ensino médio, por meio da aplicação do modelo de aprendizagem “MOTORIC”, do acrônimo Motivação, Observação, Conversação, Orientação, Reforço, Implementação e Confirmação. De acordo com os autores, a aprendizagem MOTORIC combina várias estratégias e abordagens de aprendizagem que priorizam a aprendizagem ativa. Esse modelo é aplicado no ambiente de aprendizagem com base em três abordagens de aprendizagem, que são a abordagem ambiental, a aprendizagem contextual e a aprendizagem multimídia como a aplicação da tecnologia na aprendizagem.

Os materiais de educação ambiental integrados neste estudo (Sukarjita et al., 2015) incluíram energia, sistema vivo, poluição, gerenciamento de resíduos e conservação. Os dados foram medidos por meio de um teste de múltipla escolha de conhecimento ambiental. Os resultados mostraram que a integração de materiais de educação ambiental na matéria de ciências do ensino médio por meio da aplicação desse modelo melhora efetivamente o conhecimento dos alunos sobre o meio ambiente, afirmam Sukarjita et al. (2015).

Quadro 02 – Resultados da pesquisa realizada na base de dados ERIC.

Título do estudo	Autoria	Ano	Possibilidades
The integration of environmental education in science materials by using MOTORIC learning model	Sukarjita <i>et al.</i>	2015	Aplicação de um modelo de aprendizagem.
Knowledge Sources and Opinions of Prospective Social Studies Teachers about Possible Risk and Benefit Analysis: Nuclear Energy and Power Stations	Yazici, Bulut e Yazici	2016	Questões sociocientíficas
The effect of using out-of-school learning environments in science teaching on motivation for learning science	Yildirim	2020	Ambientes de aprendizagem fora da escola
Evaluation of trends in theses on socio-Scientific issues: the case of Turkey	Yapicioglu e Atabey	2020	Questões sociocientíficas
Exploring middle school students' environmental attitudes through ecocentrism and anthropocentrism	Atabey	2021	Currículo no contexto escolar
Energy awareness education appearing in natural sciences textbooks from grade 1 to 12	Revák, Fehér e Máth	2023	Livros didáticos de ciências que ajudam a educar sobre a consciência energética.

Fonte: Os autores (2024).

Dois estudos apresentam como possibilidades inserção das energias renováveis no currículo escolar por meio de questões sociocientíficas (Yazici, Bulut, Yazici, 2016; Yapicioglu, Atabey, 2020). De acordo com Matta, Furlane e Silva (2023, p. 1),

“questões sociocientíficas ou dilemas sociocientíficos são questões controversas que envolvem diferentes pontos de vista que auxiliam na reflexão sobre o desenvolvimento de uma tecnologia e seus impactos para a sociedade”. Estas levam o estudante à reflexão e à percepção sobre os possíveis riscos e benefícios sobre os usos de uma determinada tecnologia.

O estudo, conduzido por Yildirim (2020), constatou que o uso de ambientes de aprendizagem fora da escola no ensino de ciências teve um efeito significativo no desenvolvimento da motivação dos alunos para aprender ciências. Com base nessa constatação, a educação formal dos alunos de ciências pode ser apoiada por ambientes de aprendizagem fora da escola, sugere o autor.

Atabey (2021) discute atitudes e os comportamentos dos estudantes relacionados ao contexto escolar. Neste sentido, visa identificar os comportamentos ambientais dos alunos e se as atitudes subjacentes a esses comportamentos são ecocêntricas ou antropocêntricas.

O antropocentrismo assume que o homem possui uma relação de dominação sobre a natureza, cujos recursos servem para ser explorados pelo homem. Em contrapartida, o ecocentrismo assume que os seres humanos fazem parte de um sistema mais complexo, não se encontrando no topo da hierarquia ética, “surgindo a necessidade de se repensar a postura do homem para além das relações com os seres vivos, devendo estender-se também a outros elementos, tais como o solo, a água, os processos físico-químicos, geológicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas”, afirmam Tracanca, Ferreira e Carvalho (2012, p. 113).

O estudo de Atabey (2021) revela que os estudantes demonstraram atitudes antropocêntricas nas perguntas relacionadas à economia de energia ou produtos e nas perguntas sobre como separar o lixo, jogar o lixo na lixeira e usar produtos com materiais recicláveis em suas embalagens. Isso mostra que a educação energética, como parte da educação ambiental, é necessária para a formação do cidadão. Desta forma, os autores recomendam organizar uma educação ambiental que apoie as atitudes ambientais dos alunos quando a questão tiver uma dimensão econômica e que os incentive a usar a reciclagem.

Os autores Revák, Fehér e Máth (2023) afirmam que os livros didáticos que ajudam e influenciam diretamente o aprendizado e desempenham um papel importante sobre consciência energética.

Conforme observamos, as propostas encontradas nos seis estudos geralmente contemplam abordagens abrangentes e integradas. Para além das possibilidades de alfabetização energética implementadas formalmente na sala de aula por meio das disciplinas escolares, elas também podem ser implementadas em casa e no espaço público.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou investigar as possibilidades de alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis no contexto escolar.

Os resultados indicam que há estudos que apresentam modelo de aprendizagem MOTORI, ambientes de aprendizagem fora da escola, tipos de estratégias didáticas e propostas de currículo.

Foram identificados três estudos sobre estratégias de ensino, como o uso de questões sociocientíficas (dois estudos) e uso de livros didáticos de ciências que ajudam a educar sobre consciência energética (um estudo).

Por fim, foi identificado um trabalho que defende a necessidade de um currículo que apoie as atitudes ambientais dos estudantes são possibilidades de alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis no contexto escolar.

Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a revisão sistemática da literatura para outras bases de dados relevantes para a alfabetização energética por meio da inserção de temas sobre energias renováveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao (Inerge), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Universidade Federal de Itajubá (Unifei) pelo apoio dado a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ATABEY, Nejla. Exploring middle school students' environmental attitudes through ecocentrism and anthropocentrism. *International Online Journal of Education and Teaching*, v. 8, n. 3, p. 1580–1602, 2021. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1308336>. Acesso em: 13 jul. 2024.

ÇELIK, Sibel Açisli. Pre-Service Teachers' Attitudes and Metaphoric Perceptions towards Renewable Energy Resources. *International Online Journal of Education and Teaching*, v. 8, n. 4, p. 2334–2352, 2021. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1318716>. Acesso em: 13 jul. 2024.

IPCC, 2023: Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

JABEEN, S.; MALIK, S.; KHAN, S.; KHAN, N.; QURESHI, M. I.; SAAD, M. S. M. A. Comparative systematic literature review and bibliometric analysis on sustainability of renewable energy sources. *International journal of energy economics and policy, Türkiye*, v. 11, n. 1, p. 270–280, dec. 2020. Disponível em: <https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/10759>. Acesso em 13 jul. 2024.

LIVSCHITZ, Jennifer; DREAM, Sophie. Dream. How to write a systematic review. *The American Journal of Surgery*, v. 226, n. 4, p. 553–555, 2023. Disponível em: DOI: doi.org/10.1016/j.amjsurg.2023.05.015. Acesso em: 13 jul. 2024.

MATTA, Cláudia Eliane da; FURLANI, Juliana Maria Sampaio; SILVA, Karen Adrielle de Faria. Questões sociocientíficas no ensino de física: análise das produções dos estudantes de licenciatura sobre o tema. In: ESUD CIESUD SIGATEC. Anais [...] 2024, p. 13–13, 2023. Disponível em: <https://submissao-esud.ufms.br/home/article/view/47>. Acesso em: 13 jul. 2024.

REVÁK, Ibolya M.; FEHÉR, Virág; MÁTH, János. Energy awareness education appearing in natural sciences textbooks from grade 1 to 12. *Journal of Baltic Science Education*, v. 22, n. 3, p. 470–492, 2023. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1382840>. Acesso em: 13 jul. 2024.

ROHMATULLOH; Hasanah, Aan; SAHLANI, Lalan; ZUHRI, M. Tajudin; KHOLIFAH, Nur; NURTANTO, Muhammad. A systematic review of energy literacy programs at primary and middle schools. *Pegem Journal of Education and Instruction*, v. 13, n. 1, p. 145-155, 2022. Disponível em: <http://eric.ed.gov/?id=EJ1385668>. Acesso em: 13 jul. 2024.

SUKARJITA, I. Wayan; ARDI, Muhammad; RACHMAN, Abdul; et al. The integration of environmental education in science materials by using “MOTORIC” learning model. *International Education Studies*, v. 8, n. 1, p. 152–159, 2015. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1060858>. Acesso em: 13 jul. 2024.

TRACANA, Rosa Branca; FERREIRA, Maria Eduarda; CARVALHO, Graça S. Concepções de (futuros) professores portugueses sobre educação ambiental: Identificação das dimensões ‘ecocêntrica’, ‘antropocêntrica’ e ‘sentimentocêntrica’. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 12, n. 2, p. 111–127, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4233>. Acesso em: 13 jul. 2024.

YAPICIOGLU, Aysegül Evren; ATABEY, Nejla. Evaluation of trends in theses on socio-scientific issues: the case of Turkey. *International Journal of Progressive Education*, v. 16, n. 4, p. 115–134, 2020. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1273169>. Acesso em: 13 jul. 2024.

YAZICI, Hakki; BULUT, Ramazan; YAZICI, Sibel. Knowledge sources and opinions of prospective social studies teachers about possible risk and benefit analysis: nuclear energy and power stations. *Review of International Geographical Education Online*, v. 6, n. 2, p. 160–175, 2016. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1158042>. Acesso em: 13 jul. 2024.

YENICE, N., TUNÇ, G. A. An analysis of pre-service science teachers’ attitude towards renewable energy sources and their awareness towards environmental problems. *Journal of Uludağ University Faculty of Education*, v. 31, n. 1, p. 207-222, 2018. Disponível em: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/10101>. Acesso em: 17 jul. 2024.

YILDIRIM, Halil Ibrahim. The effect of using out-of-school learning environments in science teaching on motivation for learning science. *Participatory Educational Research*, v. 7, n. 1, p. 143–161, 2020. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1244196>. Acesso em: 13 jul. 2024.

MODELAGEM DA DINÂMICA DA MOLÉCULA DE ATRAZINA EM LATOSSOLO: Calibração e Teste do Modelo MACRO 5.2

Uso de tecnologia para monitoramento ambiental

Vinícius Henrique Dias de Oliveira
Aluno de doutorado em Agronomia, Universidade
Estadual do Oeste do Paraná, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia,
vinicius.h.2012@hotmail.com.

Élcio Silvério Klosowski
Prof. Dr. Universidade Estadual do Oeste do
Paraná – Centro de Ciências Agrárias,
elcio.klosowski@unioeste.br.

Affonso Celso Gonçalves Junior
Prof. Dr. Universidade Estadual do Oeste do
Paraná – Centro de Ciências Médicas e
Farmacêuticas, affonso.junior@unioeste.br.

Vander Kaufmann
Dr. Universidade Regional de Blumenau
Departamento de Engenharia Civil,
ambitec.amb@gmail.com.

Daniel Schwantes
Prof. Dr. Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
daniel_schwantes@hotmail.com.

Resumo

Avaliar os riscos do uso de pesticidas no meio ambiente, especialmente nas águas subterrâneas, requer prever sua movimentação. Os modelos de lixiviação de pesticidas representam um método acessível e econômico para prever a poluição das águas subterrâneas e superficiais, devendo ser calibrados com base em dados experimentais para compreender melhor a dinâmica dos pesticidas no solo e garantir a sua eficiência. Este estudo de longo prazo explorou a capacidade do modelo MACRO de descrever o movimento da água e a distribuição da atrazina ao longo do perfil de um Latossolo cultivado com milho no oeste do Paraná, usando dados de um lisímetro de drenagem sob chuva simulada de alta intensidade (150 mm h⁻¹). O modelo de porosidade dupla foi calibrado usando dados de água percolada e níveis de pesticidas. Os parâmetros do solo analisados em laboratório foram utilizados como funções *pedotransfer*. As simulações iniciais mostraram diferenças significativas, devido às particularidades do modelo e à complexidade do solo e do seu espaço poroso, de modo que os testes ajustaram a curva de retenção e os parâmetros de sorção. Após os ajustes finais no modelo, foram avaliados os resultados simulados da massa de atrazina. A calibração para as concentrações de pesticidas exigiu pequenas alterações nas taxas de sorção e degradação, e os resultados foram comparados com quantidades medidas a uma profundidade específica. A simulação do transporte de atrazina foi considerada aceitável, estimando-se 0,71, 4,63 e 3,05% da massa total de atrazina em percolado, escoamento e retida no perfil, respectivamente.

Palavras-chave: Lixiviação de pesticidas; Poluição das águas subterrâneas; Simulação de chuva; Percolação de água no solo.

INTRODUÇÃO

Uma das questões mais importantes da atualidade é a conservação ambiental. De acordo com dados de monitoramento, a agricultura é uma das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas devido ao uso extensivo de pesticidas e outros agroquímicos (HERRERO-HERNÁNDEZ et al., 2013). Embora geralmente seja inferior a 1% da quantidade aplicada, a lixiviação de pesticidas pode chegar a 7,2% (MAGGI et al., 2023).

Com uma área semeada de cerca de 206,29 milhões de hectares, o milho (*Zea mays*) é a cultura mais cultivada no mundo, perdendo apenas para o trigo em termos de área cultivada. Em 2022, seu rendimento médio de grãos foi de 5,9 t ha⁻¹ (USDA, 2023). Além da necessidade frequente de irrigação, a proteção do milho no Brasil é altamente dependente de pesticidas, principalmente herbicidas. Um dos herbicidas mais utilizados no mundo é a atrazina (2-cloro-4-etilamino-6-isopropilaminos-triazina) que, embora alguns países tenham proibido seu uso, como a União Europeia e a Noruega (ROHR, 2021), o composto e seus metabólitos são comumente encontrados em águas superficiais e subterrâneas devido ao seu uso generalizado no passado e à sua persistência ambiental (SHARMA et al., 2019).

A previsão da destinação de pesticidas, por meio de mais de cem modelos desenvolvidos desde a década de 1980, se tornou fundamental para evitar consequências indesejadas e reduzir efeitos adversos (ANDERSON et al., 2015). Esses modelos, usados para registrar pesticidas e para pesquisa, são precisos na reprodução do destino dos pesticidas e do fluxo de água. Nas últimas décadas, a tendência é incluir o fluxo preferencial, ou a transferência de água por meio de macroporos, resultando no desenvolvimento de modelos como o MACRO (LARSBO & JARVIS, 2003).

A calibração dos modelos de lixiviação de pesticidas envolve duas etapas: na primeira, o modelo de fluxo de água é calibrado comparando níveis de percolação de água observados e esperados, ajustando parâmetros até uma correspondência ideal (KOLUPAEVA et al., 2022). Na segunda etapa, calibram-se os valores específicos do pesticida, como sorção e degradação, que afetam significativamente os resíduos no solo e suas concentrações no percolado.

O modelo de permeabilidade dupla MACRO 5.2, que distingue entre microporos e macroporos, é relevante tanto para a prática quanto para a pesquisa, considerando os volumes e concentrações de percolado em cada domínio (KOLUPAEVA et al., 2022; LARSBO & JARVIS, 2003).

O MACRO 5.2 foi escolhido porque usa um método baseado na física para calcular o fluxo em macro e microporos, que é razoavelmente fácil de usar e eficiente em termos de dados (LARSBO & JARVIS, 2003). O modelo é amplamente utilizado nos procedimentos da União Europeia para prever a lixiviação de pesticidas em águas subterrâneas em vários cenários, com alguns envolvendo parâmetros pré-calibrados para o fluxo de água e o transporte de pesticidas (SCORZA JÚNIOR et al., 2007). No entanto, apesar de sua utilidade, há relativamente poucos estudos abrangentes realizados com o modelo MACRO, especialmente no contexto de Latossolos e com a atrazina como pesticida de interesse. São necessárias mais avaliações para aumentar a confiança na capacidade do modelo de prever com precisão a lixiviação de pesticidas para essa finalidade (MARÍN-BENITO et al., 2018).

A escassez de pesquisas desse tipo destaca a novidade deste trabalho, pois fornece uma avaliação crítica do modelo MACRO nessas condições específicas, contribuindo com novas percepções que são essenciais para aumentar a confiabilidade do modelo na previsão da lixiviação de pesticidas em solos tropicais.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do modelo MACRO 5.2, testando a hipótese de que, ao ser calibrado com parâmetros específicos do solo, o modelo pode simular com precisão o movimento da água e prever a distribuição do herbicida atrazina em Latossolo Vermelho. A avaliação é feita comparando as previsões do modelo com os resultados de um experimento em lisímetro de drenagem. O trabalho também oferece suporte estatístico e matemático para o uso do modelo em áreas de cultivo de milho no sul do Brasil, melhorando a previsão da percolação da atrazina e a compreensão da contaminação de águas subterrâneas.

METODOLOGIA

O estudo de campo foi conduzido em um lisímetro de drenagem, instalado em dezembro de 2013, na Estação de Cultivo Protegido e Controle Biológico Professor Mário Cesar Lopes, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), em Marechal Cândido Rondon - PR.

O lisímetro, construído em acrílico com 8 mm de espessura e uma base de 1 m², contém uma amostra indeformada de solo de 1 m³. Coletas de escoamento superficial e água percolada foram realizadas por meio de orifícios localizados em diferentes profundidades do lisímetro.

A área experimental foi semeada com quatro safras de milho híbrido NS 50 PRO, plantadas em 15 de outubro de 2018, 1 de março de 2019, 8 de outubro de 2019, e 15 de fevereiro de 2020, seguindo um sistema de plantio convencional e população de 65.000 plantas ha⁻¹. Após a emergência das plantas, o herbicida Siptroil® (40% m/v de atrazina) foi aplicado semanalmente até 40 dias após a emergência, totalizando seis aplicações por safra.

Um simulador de chuva foi utilizado para controlar a intensidade das precipitações, com 24 simulações realizadas 24 e 48 horas após a aplicação do herbicida, representando eventos de precipitação intensa (150 mm).

Amostras de escoamento superficial e percolado, a 1 metro de profundidade, foram coletadas e analisadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste. Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação meteorológica próxima à Unioeste e de uma estação em Marechal Cândido Rondon, incluindo precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas, albedo e evapotranspiração.

A modelagem dos dados foi realizada utilizando o modelo MACRO 5.2, um modelo numérico unidimensional de base física que simula o fluxo transiente de água e o transporte de solutos em escala de parcela, conforme descrito por Larsbo e Jarvis (2003). Os parâmetros hidráulicos de entrada para o modelo MACRO são: Densidade de solo seco (GAMMA), Alfa de Van Genutchen (ALPHA), N de Van Genutchen (N), Conteúdo de água saturada (TPORV), Conteúdo de água limítrofe (XMPOR), Conteúdo de água residual (RESID), Caminho de difusão eficaz (ASCALE),

Condutividade hidráulica saturada (KSATMIN), Condutividade hidráulica limítrofe (KSM), Tensão de água limítrofe no solo (CTEN), Fator de distribuição de poros (macroporos) (ZN) e Fator de tortuosidade (microporos) (ZM), separados em horizonte A (0-20 cm) e B (20-100 cm).

Neste estudo, apenas os parâmetros hidráulicos foram submetidos a uma análise de sensibilidade (na primeira etapa) (SALTELLI et al., 2000), já que os parâmetros relacionados ao herbicida foram todos submetidos a ajustes.

Até o momento, a disponibilidade de dados parece ser insuficiente para estabelecer um padrão nas estratégias de calibração do modelo MACRO. Neste estudo, a calibração do modelo MACRO 5.2 seguiu a metodologia adaptada de Kolupaeva et al., 2022. Essa abordagem apresenta um método de calibração aprimorado, permitindo a interpretação de dados obtidos de experimentos numéricos de transporte usando uma técnica de dois domínios.

Na primeira etapa da calibração, foi feito um ajuste em um dos parâmetros hidráulicos em cada variação, mantendo-o na variação seguinte ou fazendo um novo ajuste. Embora a metodologia ajuste o parâmetro tensão de água limítrofe no solo (CTEN), optou-se por não o fazer neste trabalho e manter os valores estimados pelas funções *pedotransfer*, que foi mantido em 10 cm, valor indicado para solos argilosos (BEULKE et al., 2002).

Na segunda etapa, para os parâmetros relacionados à atrazina, Taxa de degradação (DEG), Coeficiente de sorção (ZKD) e Dispersividade (DV), o modelo fez um ajuste automático em comparação com os valores de atrazina observados no experimento. Portanto, foi determinada uma faixa de valores para cada parâmetro: 0,001 a 0,02 dia⁻¹ para DEG, 0,1 a 10 cm³ g⁻¹ para ZKD e 5-60 cm para DV (KOLUPAEVA et al., 2022).

Uma comparação visual dos gráficos de percolação cumulativa observada e prevista (água e soluto) do limite inferior do perfil do solo do lisímetro foi realizada para avaliar a precisão da simulação e calcular parâmetros estatísticos: Eficiência da Modelagem (EF), Erro Quadrático Médio Residual (RMSE) e Coeficiente de Massa Residual (CMR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

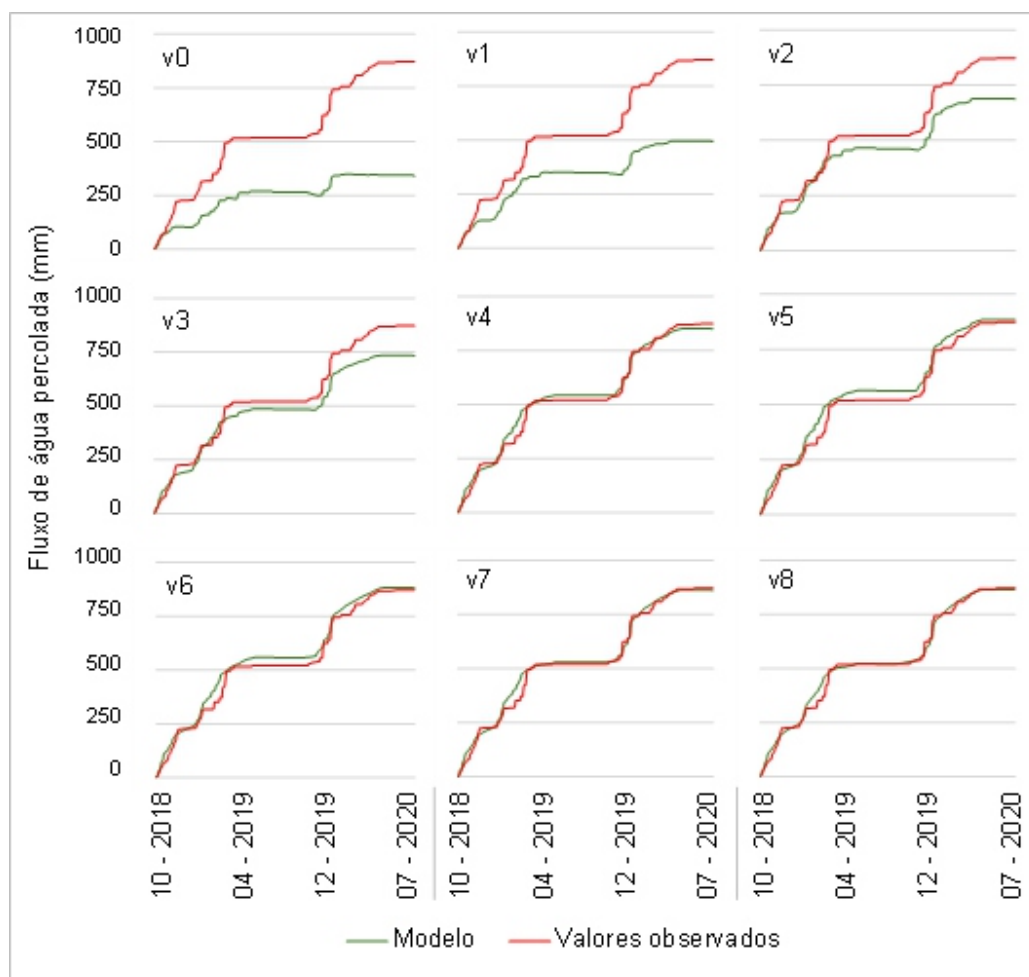
Para a calibração do modelo na primeira etapa, o processo foi realizado com base nos resultados obtidos na análise de sensibilidade, em que os parâmetros hidráulicos com influência mais significativa foram variados no ajuste manual do modelo. Foram feitas oito variações nos parâmetros do modelo, mantendo a última modificação na variação seguinte: v0 (sem variação), v1 (KSM = 0,03), v2 (KSATMIN + 50%), v3 (N + 100%), v4 (ALPHA + 100%), v5 (ZN = 2), v6 (KSM = 0,05), v7 (ASCALE = 20), v8 (KSM = 0,08 e ASCALE = 30).

Em v0, o modelo MACRO subestima a quantidade de água percolada, um total de 339,92 milímetros acumulados, em oposição aos 872,27 milímetros observados, tornando necessária a calibração do modelo. A modelagem com os valores obtidos pelas funções *pedotransfer* também subestimou a quantidade de água percolada em outros estudos (KOLUPAEVA et al., 2022; DUFILHO & FALCO, 2020; SPILL & GASSMANN, 2022).

Em v1, o parâmetro KSM foi alterado de 0,3 no horizonte A e 0,14 no horizonte B para 0,03 em ambos os horizontes. Esse resultado foi a primeira variação porque seu valor foi dez vezes menor do que o inicial no horizonte A. Os valores aumentaram até v5, quando o valor de ZN diminuiu de 4 para 2 (sem dimensão), resultando em uma superestimação do modelo (883,22 mm). Em v6, v7 e v8 os valores de KSM e ASCALE foram ligeiramente alterados para ajustar melhor os resultados estimados pelo modelo.

A Figura 1 mostra os gráficos dos dados acumulados de água percolada observada e simulada durante o período de avaliação, com valores obtidos pelas funções *pedotransfer* e as oito variações subsequentes.

Figura 1: Processo de calibração do modelo MACRO 5.2 para o conteúdo de água com base nos dados observados de água percolada.



As avaliações estatísticas foram realizadas em cada variação de calibração, incluindo v0. Com base nos resultados obtidos a partir da variação v3 (EF = 0,901), os resultados podem ser considerados excelentes de acordo com Ritter e Muñoz-Carpena (2013). Ao analisar o RMSE, a discrepância típica entre a previsão do modelo e os resultados reais foi de aproximadamente 21 milímetros de água percolada. Diferentes trabalhos usando o modelo MACRO indicam valores para o RMSE de percolação de 10,67 (GIANNOULI &

ANTONOPOULOS, 2015), 17,19 (MARÍN-BENITO et al., 2020) e 6,8 (HERBST et al., 2005). Antes de calibrar o modelo e usando funções *pedotransfer*, foi encontrado um RMSE de 330,7. Kolupaeva et al. (2022) encontraram um RMSE de 222,07, chegando a 19,94 após o procedimento de calibração.

O valor de CMR em v8 (-0,01) indica uma superestimação insignificante do resultado modelado (SMITH et al., 1996). Outros estudos também mostram valores de CMR próximos como 0,06 (MARÍN-BENITO et al., 2018) e 0,02 (KOLUPAEVA et al., 2022).

Em relação à segunda etapa, foram estimados os parâmetros relacionados à atrazina. A taxa de degradação foi estimada em 0,02 e 0,0167 dia⁻¹ nas camadas A e B, respectivamente. Outros estudos indicam taxas de degradação entre 0,08 e 0,17 dia⁻¹ (XIAOZHEN et al., 2005), 0,53 dia⁻¹ (ZHANG et al., 2015), 0,18 dia⁻¹ (SATAPANAJARU et al., 2008) e entre 0,014 e 0,004 dia⁻¹ (KOLUPAEVA et al., 2022). O coeficiente de sorção foi de 2,55 e 1,95 cm³ g⁻¹ para as camadas A e B, respectivamente, valores muito próximos aos encontrados em estudos anteriores com solos do mesmo experimento (GONÇALVES JUNIOR et al., 2023), nos quais os autores encontraram um Kd de 2,59 cm³ g⁻¹. A dispersividade do pesticida foi estimada em 60 centímetros para os horizontes A e B, o que corrobora os resultados encontrados por Kolupaeva et al. (2020) que, em estudos de lisímetro semelhantes, encontraram valores de dispersividade observados de até 60 centímetros em solos argilosos.

Os parâmetros calibrados pelo modelo MACRO resultaram em um valor de EF de 0,729, que é considerado aceitável (RITTER & MUÑOZ-CARPENA, 2013). A modelagem para atrazina também resultou em um RMSE de 0,139 e CMR de 0,161, ambos próximos de 0, indicando um bom ajuste dos valores simulados (SMITH et al., 1996). Kolupaeva et al. (2020) encontraram valores de 0,98, 1,13 e 0,43 para EF, RMSE e CMR, respectivamente, após realizar um ajuste automático (em faixas de valores) para a dinâmica da molécula de ciantraniliprole.

Tabela 1: Balanço de massa para atrazina entre 15/10/2018 e 07/07/2020

Ano	2018		2019				2020		
Data	22/10	27/11	18/03	23/04	21/10	26/11	02/03	07/04	07/07
Massa (mg)									
Armazenado no solo	0	666,63	42,47	579,14	59,30	696,35	148,86	624,44	146,53
Degradação	0	468,81	1079,2	1688,9	2189,9	2703,9	3238,4	3911,2	4374,6
Lixiviado	0	22,36	26,90	28,42	28,59	29,47	33,57	33,94	33,99
Escoamento	0	42,20	51,39	99,10	110,68	158,75	167,68	214,75	222,39
Absorção pelas plantas	0	0	0,01	4,44	11,46	11,46	11,46	15,48	22,05
Degradação por plantas	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,35
Massa total	0	1200	1200	2400	2400	3600	3600	4800	4800

Na simulação, previu-se que quase 97,3% da massa de pesticida aplicada ficou retida nas fases líquida e sólida do solo no dia da primeira aplicação (22/10/2018) e que 55,5% de toda a aplicação da primeira safra ficou retida no perfil após a sexta aplicação (26/11/2018). Também foi estimado que aproximadamente 50% do total

aplicado foi armazenado após 37 dias da primeira aplicação, 25% após 55 dias e 10% após 96 dias. Além disso, cerca de 42,4 mg (3,5%) da atrazina aplicada no verão ainda estava presente no solo antes da primeira aplicação da primeira safra de inverno, conforme a Tabela 1.

O alto teor de matéria orgânica, a presença de argila e o baixo pH do solo podem ter influenciado na retenção e degradação das moléculas, diminuindo sua mobilidade no perfil do solo (MENDES et al., 2019). Essas condições também podem favorecer a degradação da atrazina por microrganismos específicos, como sugerido por Gonçalves et al. (2023), sendo a degradação biológica predominantemente um processo na fase líquida do solo (FAN et al., 2011). Estudos anteriores indicam que a capacidade de retenção do solo aumenta após a aplicação de pesticidas (BAILEY et al., 2016).

No último dia do experimento (07/07/2020), quando a massa total de 4800 mg havia sido aplicada, aproximadamente 146,53 mg (3,05%) ainda estavam armazenados no perfil do solo. Giannouli e Antonopoulos (2015), utilizando o modelo MACRO, estimaram que 99% da atrazina permaneceu no solo no dia da aplicação, com cerca de 50% retida após 29 dias, 25% após 48 dias e 10% após 68 dias. A menor quantidade de atrazina aplicada pode ter influenciado a menor retenção do herbicida em comparação com o presente estudo.

CONCLUSÕES

O desempenho do modelo MACRO na simulação do movimento da água e da distribuição da molécula de atrazina em Latossolo estudado sob condições de alta intensidade de chuva foi satisfatório.

A calibração referente às medições indicou que o ajuste de vários parâmetros era necessário para descrever com precisão o transporte de solutos nesse solo argiloso.

Foi encontrado um ajuste adequado ($EF = 0,992$ para água percolada e $EF = 0,729$ para atrazina lixiviada) entre os valores obtidos nos lisímetros e as simulações, demonstrando um alto potencial para o uso do MACRO como uma ferramenta para avaliar os riscos de contaminação por atrazina em águas superficiais e subterrâneas sob as condições predominantes.

Esse solo pode ser considerado um excelente exemplo de um cenário típico para avaliar os riscos de pesticidas para as águas superficiais, já que a descarga para os drenos (0,71 e 4,63% de atrazina total no percolado e no escoamento, respectivamente) e a retenção do solo (3,05% de atrazina total) foram estimadas para o local.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Os autores agradecem à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), ao Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (GESOMA), à Universidade Regional de Blumenau (FURB) e à Martin Luther Universität Halle-Wittenberg (MLU) pela parceria neste estudo.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. P. et al. Applied Groundwater Modeling: simulation of flow and advective transport. 2. ed. Academic Press, 2015. 630 p.

BAILEY, C. et al. The veterinary antibiotic journey: comparing the behaviour of sulfadiazine, sulfamethazine, sulfamethoxazole and tetracycline in cow excrement and two soils. *Journal of Soils and Sediments*, v. 16, n. 6, p. 1690-1704, 2016.

BEULKE, S. et al. Development of Guidance on Parameter Estimation for the Preferential Flow Model MACRO 4.2. Cranfield Centre for EcoChemistry, p. 68, 2002.

DUFILHO, A. C.; FALCO, S. Preferential flow modelling of chlorpyrifos leaching in two arid soils of irrigated agricultural production areas in Argentine Patagonia. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 229, p. 103584, 2020.

FAN, Z. et al. Sorption, Fate, and Mobility of Sulfonamides in Soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 218, n. 1-4, p. 49-61, 2010.

GIANNOULI, D. D.; ANTONOPOULOS, V. Z. Evaluation of two pesticide leaching models in an irrigated field cropped with corn. *Journal of Environmental Management*, v. 150, p. 508-515, 2015.

GONÇALVES JUNIOR, A. C. et al. Atrazine fate in Rhodic Ferralsol grown with corn under high-intensity rainfall conditions. *Agricultural Water Management*, v. 276, p. 108065, 2023.

HERRERO-HERNÁNDEZ, E. et al. Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region. *Journal of Hydrology*, v. 486, p. 234-245, 2013.

KOLUPAEVA, V. et al. Study of cyantraniliprole sorption in soils of Russia. *E3S Web of Conferences*, v. 169, p. 01022, 2020.

KOLUPAEVA, V.; et al. Modelling Water and Pesticide Transport in Soil with MACRO 5.2: calibration with lysimetric data. *Agriculture*, v. 12, n. 4, p. 505, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12040505>>.

LARSBO, M.; JARVIS, N. MACRO 5.0: a model of water flow and solute transport in macroporous soil: technical description. Uppsala: Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, 2003.

MAGGI, F. et al. Agricultural pesticide land budget and river discharge to oceans. *Nature*, v. 620, n. 7976, p. 1013-1017, 2023.

MARÍN-BENITO, J. M. et al. Recycling organic residues in soils as amendments: effect on the mobility of two herbicides under different management practices. *Journal of Environmental Management*, v. 224, p. 172-181, 2018.

MARÍN-BENITO, J. M.; et al. Modelling herbicides mobility in amended soils: calibration and test of PRZM and MACRO. *Science of the Total Environment*, v. 717, p. 137019, 2020.

MENDES, K. F. et al. Transport of Atrazine Via Leaching in Agricultural Soil with Mineral Oil Addition. *Planta Daninha*, v. 37, 2019.

RITTER, A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Performance evaluation of hydrological models: statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, v. 480, p. 33-45, 2013.

ROHR, J. R. The Atrazine Saga and its Importance to the Future of Toxicology, Science, and Environmental and Human Health. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 40, n. 6, p. 1544-1558, 2021.

SALTELLI, A. et al. *Sensitivity Analysis*. 1st. ed. WILEY, 2000.

SATAPANAJARU, T. et al. Remediation of Atrazine-contaminated Soil and Water by Nano Zerovalent Iron. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 192, n. 1-4, p. 349-359, 2008.

SCORZA JÚNIOR, R. P. et al. Testing MACRO (version 5.1) for pesticide leaching in a Dutch clay soil. *Pest Management Science*, v. 63, n. 10, p. 1011-1025, 2007.

SHARMA, A. et al. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *Sn Applied Sciences*, v. 1, n. 11, 2019.

SMITH, J. et al. Quantitative methods to evaluate and compare soil organic matter (SOM) models. *NATO ASI Series*, 38.; 1996. p. 181–99.

SPELL, C.; GASSMANN, M. Long-term sulfamethazine leaching simulation in two different soils using the MACRO model. *Journal of Environmental Quality*, v. 51, n. 3, p. 364-376, 2022.

USDA - United States Department of Agriculture. *World Agricultural Supply and Demand Estimates*, 2023.

XIAOZHEN, F. et al. Dynamics of solar light photodegradation behavior of atrazine on soil surface. *Journal of Hazardous Materials*, v. 117, n. 1, p. 75-79, 2005.

ZHANG, Y. et al. The fabrication of innovative single crystal N,F-codoped titanium dioxide nanowires with enhanced photocatalytic activity for degradation of atrazine. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 168-169, p. 550-558, 2015.

Estudo comparativo da produção de ácidos orgânicos por diferentes fungos filamentosos com potencial para aplicação na Biolixiviação de metais

Reaproveitamento, reutilização e tratamento de resíduos (sólidos e líquidos)

Victor José Romão dos Santos

Aluno do Curso de doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Química, victorromao@ufu.br.

Vinicius Santos Moura

Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Química, vinicius.moura2@ufu.br.

Matheus Henrique Barbosa Oliveira

Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Química, matheus.barbosa@ufu.br.

Miriam Maria de Resende

Profa. Dra. dos Cursos de graduação e doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Química, mresende@ufu.br.

Vicelma Luiz Cardoso

Profa. Dra. dos Cursos de graduação e doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Química, vicelma@ufu.br.

Resumo

A recuperação de metais de baterias de íons de lítio e resíduos eletrônicos geralmente é feita por pirometalurgia, que, embora eficaz, é energeticamente dispendiosa e gera poluição. A hidrometalurgia é uma alternativa, mas também apresenta desafios ambientais. Nesse contexto, a biolixiviação surge como uma opção mais sustentável, utilizando microrganismos para produzir ácidos orgânicos a partir de resíduos agroindustriais. Este estudo visa comparar a produção de ácidos orgânicos por cinco espécies de fungos filamentosos, visando sua aplicação na biolixiviação de metais como lítio e manganês. Os fungos foram cultivados em meio Czapek e a eficiência de produção de biomassa e ácidos foi avaliada após 7 e 10 dias de fermentação. Resultados indicaram que *A. niger* e *P. oxalicum* (ATCC-24784) tiveram a maior produção de biomassa, com esta espécie sendo responsável por uma menor concentração de glicose residual ($3,86 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) após 7 dias de fermentação. Enquanto as espécies *T. longibrachiatum* (CBMAI-1192), *T. hamatum* (CBMAI-1584) e *A. niger* apresentaram a maior produção de ácidos orgânicos totais ao final de 10 dias de fermentação ($1,10$; $0,74$ e $1,17 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$). Os dados sugerem que o desenvolvimento dos experimentos em condições ótimas de fermentação pode potencializar a produção de ácidos orgânicos, essenciais para a biolixiviação. Futuros experimentos são recomendados para explorar variações nos parâmetros reacionais.

Palavras-chave: Biolixiviação de metais; Fungos filamentosos; Ácidos orgânicos.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a recuperação de metais provenientes de baterias de íons de lítio (LIBs) e outros resíduos eletrônicos (RE) é predominantemente realizada por meio da pirometalurgia. Este método exige condições extremas de temperatura, frequen-

temente acima de 500°C, e gera gases tóxicos, como dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (No_x), contribuindo para a poluição atmosférica e representando um desafio significativo em termos de mitigação ambiental (RAJ et al., 2022).

A pirometalurgia, apesar de eficiente na recuperação de metais como cobalto, níquel e cobre, apresenta desvantagens consideráveis devido à sua alta demanda energética e ao impacto ambiental associado (NGUYEN-TIEN et al., 2022).

Outra técnica amplamente utilizada é a hidrometalurgia, que envolve a lixiviação de metais utilizando soluções ácidas. Normalmente, ácidos inorgânicos como o ácido sulfúrico (H₂SO₄) são empregados neste processo, permitindo a solubilização de diversos metais contidos nos resíduos eletrônicos (ILOEJE et al., 2022).

A hidrometalurgia é geralmente realizada em condições menos extremas comparadas à pirometalurgia, o que reduz a geração de gases tóxicos. No entanto, a utilização de grandes volumes de ácidos fortes acarreta desafios relacionados ao tratamento e à disposição dos efluentes gerados, além dos riscos à saúde e segurança dos operadores (FAHIMI et al., 2022).

Neste contexto, a biolixiviação emerge como uma alternativa promissora, utilizando microrganismos para produzir meios ricos em ácidos orgânicos biodegradáveis. Esses ácidos orgânicos podem ser gerados através da fermentação de resíduos agroindustriais, integrando-se ao tratamento de efluentes e reduzindo a necessidade de reagentes químicos perigosos (SETHURAJAN; GAYDARDZHIEV, 2021).

A biolixiviação oferece uma abordagem ambientalmente mais amigável, com microrganismos específicos, como fungos e bactérias, desempenhando um papel crucial na solubilização de metais. Esse processo pode ser ajustado em sistemas de batelada ou batelada repetida, utilizando diferentes fontes de carbono provenientes de resíduos ou coprodutos agroindustriais (KAKSONEN et al., 2020).

O objetivo deste estudo é avaliar comparativamente a produção de ácidos orgânicos por diferentes espécies de fungos filamentosos em fermentação submersa com potencial para aplicação na biolixiviação de metais provenientes de resíduos eletrônicos, como lítio (Li) e manganês (Mn).

METODOLOGIA

Foram utilizadas 5 espécies de fungos filamentosos nos ensaios experimentais preliminares, sendo 3 amostras do gênero *Trichoderma*, adquiridas da Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria, CBMAI-1192 (*T. longibrachiatum*), CBMAI-1584 (*T. hamatum*) e CBMAI-1677 (*T. harzianum*), 1 amostra do gênero *Aspergillus* (*A. niger*) que constitui o acervo de microrganismos do Núcleo de Pesquisa em Processos Biotecnológicos da Faculdade de Engenharia (NUCBIO/FEQ) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e uma amostra do gênero *Penicillium*, ATCC-24784 (*P. oxalicum*), que foi gentilmente doado pela Fundação Oswaldo Cruz.

Preparou-se um meio de cultivo BDA (Batata-Dextrose-Ágar; Sigma-Aldrich: Millipore 70139) para obter uma suspensão de 39 g·L⁻¹ em água destilada: ágar, 15 g·L⁻¹; dextrose, 20 g·L⁻¹; e extrato de batata, 4 g·L⁻¹. A mistura foi autoclavada a 121 °C por 15 minutos e, posteriormente, vertida em placas de Petri esterilizadas. Realizou-se este

procedimento em capela equipada com lâmpada ultravioleta germicida (luz UV), que foi ligada por 20 min para a esterilização do fluxo laminar e do conteúdo antes da operação.

Após 40 min, utilizou-se um filme para vedar as placas com o meio de cultivo semissólido e em seguida transferiu-as para uma estufa a 28 °C, onde permaneceram incubadas por 24 h. A partir deste período é possível avaliar a viabilidade das placas para a inoculação dos fungos, através da não observação do crescimento visível de contaminação por colônias de outros microrganismos.

Foi preparado um meio Czapek líquido para cultivo de fungos a partir da dissolução de dextrose (Dinâmica: CAS 492-62-6), 20 g·L⁻¹; nitrato de sódio (Isofar: Ref. 375), 2 g·L⁻¹; fosfato dibásico de potássio (Alphatec: CAS 7758-11-4), 1 g·L⁻¹; sulfato de magnésio (Alphatec: CAS 10034-99-8), 0,5 g·L⁻¹; cloreto de potássio (Alphatec: 7447-40-7), 0,5 g·L⁻¹; sulfato ferroso (Dinâmica: CAS 7782-63-0), 0,01 g·L⁻¹; e sulfato de amônio (ACS Científica: R14010500), 1 g·L⁻¹ em água destilada.

O pH do meio foi corrigido (pH = 5,50) utilizando uma solução de ácido clorídrico (HCl a 1 mol·L⁻¹) e medição em pHmetro digital de bancada (Bel Engineering: W3B). Em seguida, transferiu-se 150 mL do meio Czapek para frascos Erlenmeyer de 250 mL, que foram autoclavados por 15 min a 121 °C.

Os fungos filamentosos utilizados neste estudo foram inoculados individualmente em placas consideradas viáveis para o cultivo, com o auxílio de uma alça de platina esterilizada em chama de bico de *Bunsen*. O procedimento foi realizado em capela previamente limpa com álcool 70% e esterilizada com luz UV durante 20 min. O procedimento de limpeza e esterilização foi realizado entre os repiques de uma espécie e outra para evitar a contaminação.

As placas inoculadas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel pardo e incubadas a 28 °C por 10 dias para promover o crescimento dos fungos em toda a superfície dos meios de cultivo. Posteriormente, o método Castellani foi utilizado para preservação de amostras de micélio em água destilada estéril dentro de frascos criogênicos, armazenando-os a 25 °C, constituindo um estoque para cada espécie.

Utilizou-se uma alça de platina estéril para coletar o crescimento fúngico obtido em 1 placa, transferindo-o para cada frasco Erlenmeyer contendo 150 mL do meio Czapek preparado previamente. O procedimento foi realizado em triplicata e separadamente para cada espécie, realizando a limpeza da capela com álcool 70% e esterilização com luz UV entre a inoculação de uma espécie e outra.

Os frascos foram fechados e incubados por 10 dias em incubadora *shaker* com temperatura a 28 °C e agitação a 130 rpm. Simultaneamente, testes em branco sem microrganismos foram realizados nas mesmas condições em triplicata como controle.

Com o auxílio de *pipetador* automático, cujas ponteiros foram esterilizados previamente, foram coletadas alíquotas de 2 mL em cada frasco Erlenmeyer no 7º dia de fermentação, que em seguida foram diluídas em água destilada (1:3, v/v) e filtradas em filtro de acetato de celulose tipo seringa (Chromafil: CA-20/25; Diâmetro de poro: 0,20 µm). O filtrado foi transferido para *vials* de 1,5 mL para análise em triplicata dos compostos orgânicos por cromatografia líquida HPLC (C610H).

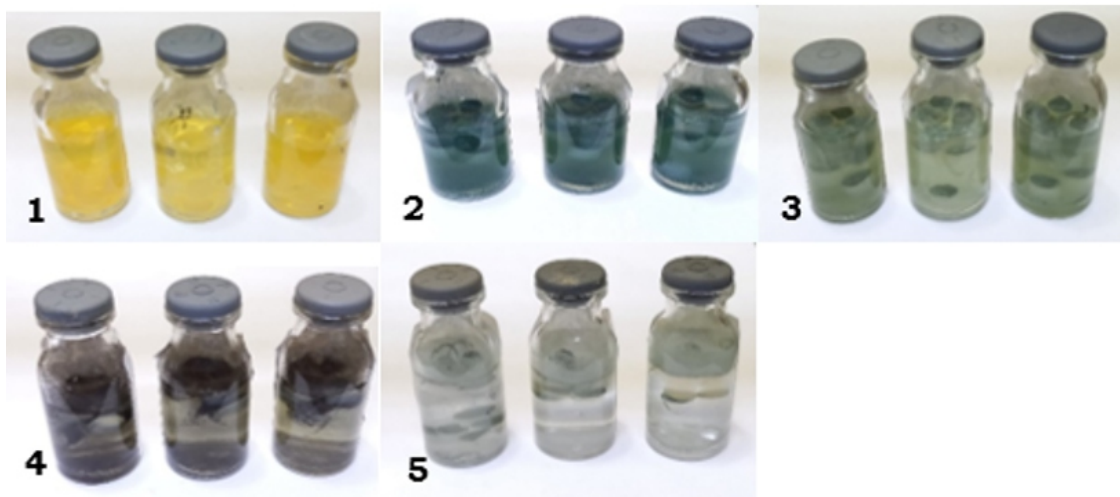
O procedimento de amostragem supracitado foi realizado em capela estéril e as bordas dos frascos Erlenmeyer foram esterilizadas em chama de bico de Bunsen antes e depois da coleta das amostras, para que estes fossem incubados novamente por mais 3 dias nas condições descritas anteriormente (28 °C e 130 rpm).

Ao final de 10 dias, o caldo da fermentação foi filtrado rapidamente sob vácuo em papel filtro quantitativo (Cód. 504111; Retenção de partículas: 7-12 µm) e funil de Büchner para a obtenção dos pellets de micélio e filtrado. A determinação da biomassa fúngica em base seca foi realizada a partir da diferença entre a massa do papel filtro e a massa do papel filtro com a biomassa, depois de verificada a massa constante por secagem em estufa a 80 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 01 a seguir apresenta a conservação das cepas a longo prazo pelo método Castellani (1939), que é essencial para a pesquisa de fungos filamentosos, pois assegura a preservação da diversidade genética e a consistência das amostras usadas em experimentos.

Figura 01: Método Castellani para manutenção das espécies de fungos filamentosos.



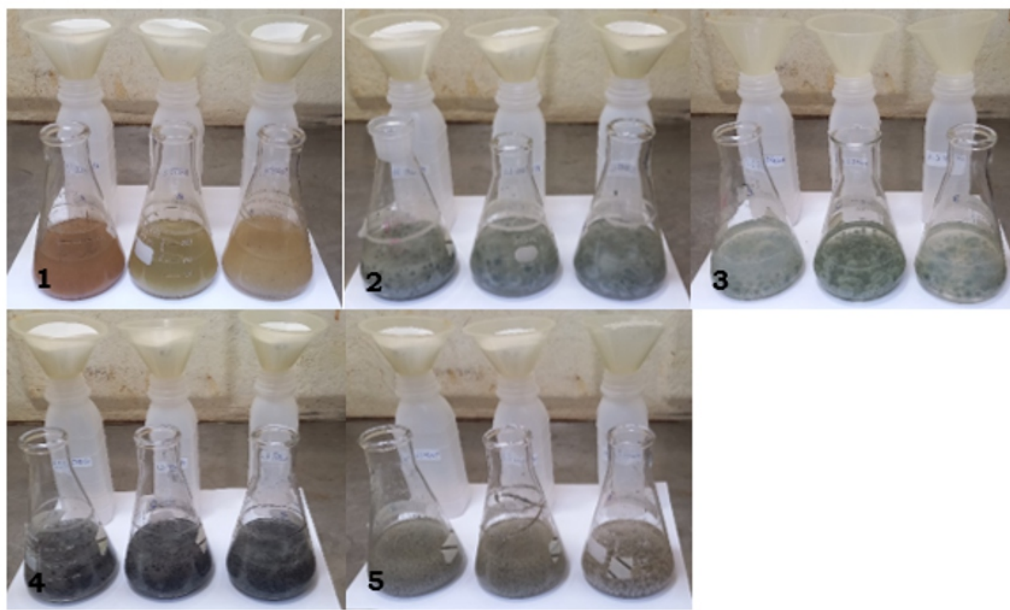
Sendo: (1) CBMAI-1192, (2) CBMAI-1584, (3) CBMAI-1677, (4) *A. niger* e (5) ATCC-24784.

O processo de filtração dos meios Czapek após 10 dias de fermentação submersa é ilustrado na Figura 02 a seguir. Esta etapa é utilizada na separação dos pellets de micélio para a obtenção do filtrado final (PAPADAKI et al., 2020).

A fermentação submersa, utilizada neste processo, é crucial para a produção de compostos orgânicos, pois permite uma melhor distribuição dos nutrientes e oxigênio entre os microrganismos (LOJANANAN et al., 2024).

A biomassa fúngica após o processo fermentativo de 10 dias é mostrado na Figura 03. Destacando variações significativas entre as espécies estudadas, refletindo as diferenças nas suas capacidades de crescimento e eficiência na utilização dos nutrientes disponíveis (TORRES et al., 2023).

Figura 02: Filtração dos ensaios realizados em meio líquido Czapek.



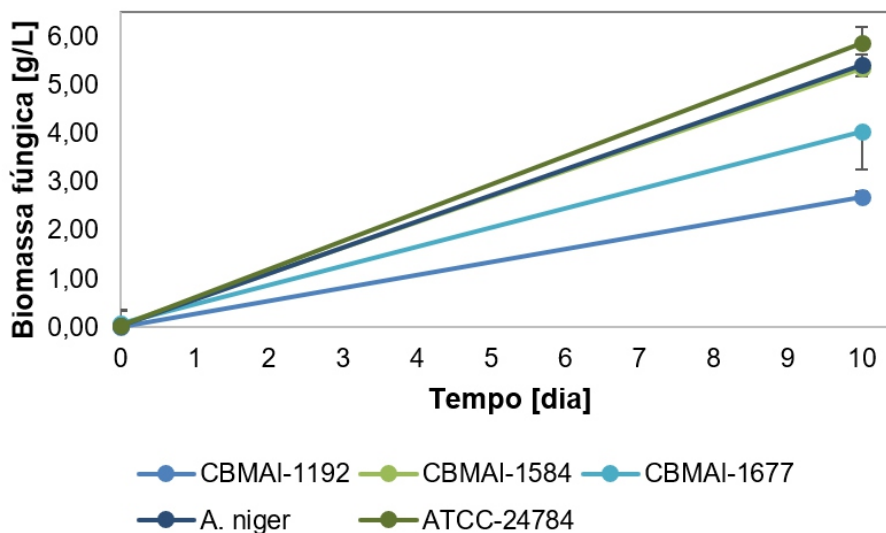
Sendo: (1) CBMAI-1192, (2) CBMAI-1584, (3) CBMAI-1677, (4) *A. niger* e (5) ATCC-24784.

Os valores de biomassa fúngica correspondente aos inóculos, ou seja, no tempo ($t = 0$) são equivalentes a 0,01; 0,04; 0,07; 0,02 e 0,03 para as cepas CBMAI-1192, CBMAI-1584, CBMAI-1677, *A. niger* e ATCC-24784, respectivamente. Após 10 dias de crescimento, a biomassa fúngica mais alta para ATCC-24784 ($5,86 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) e *A. niger* ($5,42 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) pode ser atribuída à sua capacidade superior de utilizar os nutrientes no meio Czapek, bem como à sua adaptação a condições de fermentação submersa (JIN et al., 2021). CBMAI-1584 ($5,32 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) e CBMAI-1677 ($4,04 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), embora também apresentem níveis relativamente altos de biomassa, são conhecidos por crescerem mais lentamente, o que pode explicar suas biomassas ligeiramente inferiores.

Já CBMAI-1192 ($2,68 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) apresenta a menor biomassa, possivelmente devido a uma menor taxa de crescimento ou uma menor eficiência na utilização dos nutrientes no meio Czapek, mostrando que essa espécie pode ter requisitos nutricionais específicos (DUARTE et al., 2021).

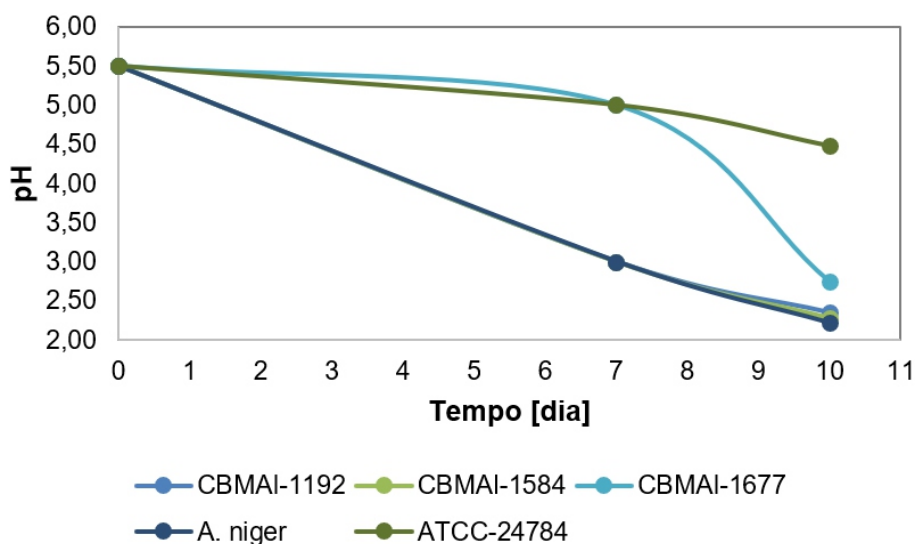
Os valores de pH após o processo fermentativo refletem suas diferentes capacidades de alterar o ambiente do meio de cultura. *A. niger* e CBMAI-1584 apresentam os valores de pH mais baixos (2,21 e 2,28, respectivamente), sugerindo uma acidificação mais intensa do meio, o que é consistente com a produção de ácidos orgânicos durante a fermentação, como ácido cítrico e ácido oxálico (CHERGUI et al., 2021). CBMAI-1192 e CBMAI-1677 também resultam em pH ácido (2,35 e 2,74), mas menos pronunciado, indicando uma menor produção de ácidos.

Figura 03: Concentração de biomassa fúngica após fermentação.



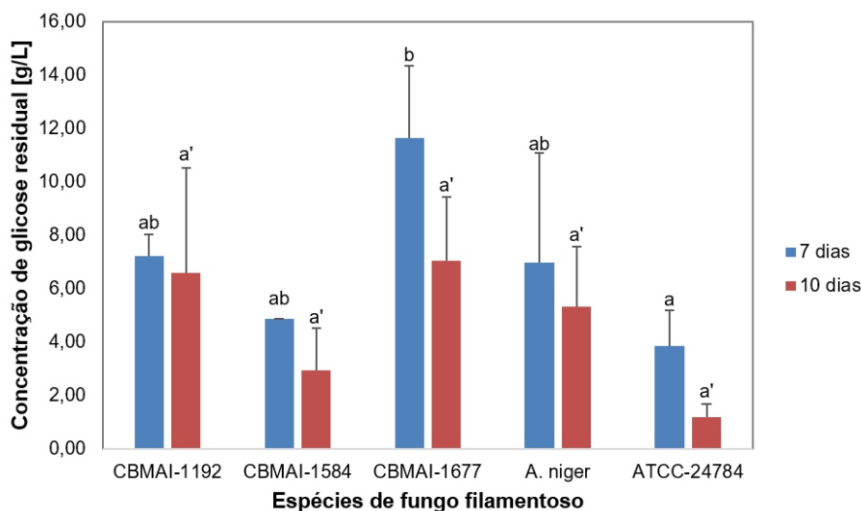
A Figura 04 apresenta a evolução do pH do meio fermentativo durante 10 dias de fermentação.

Figura 04: Evolução do pH durante a fermentação submersa.



Por outro lado, ATCC-24784 apresenta um pH significativamente mais alto (4,48), o que pode indicar uma menor acidificação do meio e possivelmente uma menor produção de ácidos orgânicos ou uma capacidade mais eficiente de tamponamento do pH durante o processo fermentativo (LUO et al., 2023). No entanto, conforme mostra a Figura 05, esta espécie resultou em uma menor concentração de glicose residual, o que é considerado interessante do ponto de vista do processo de biolixiviação subsequente, pois a presença de açúcares no meio tende a inibir esta reação (ZHAO et al., 2023).

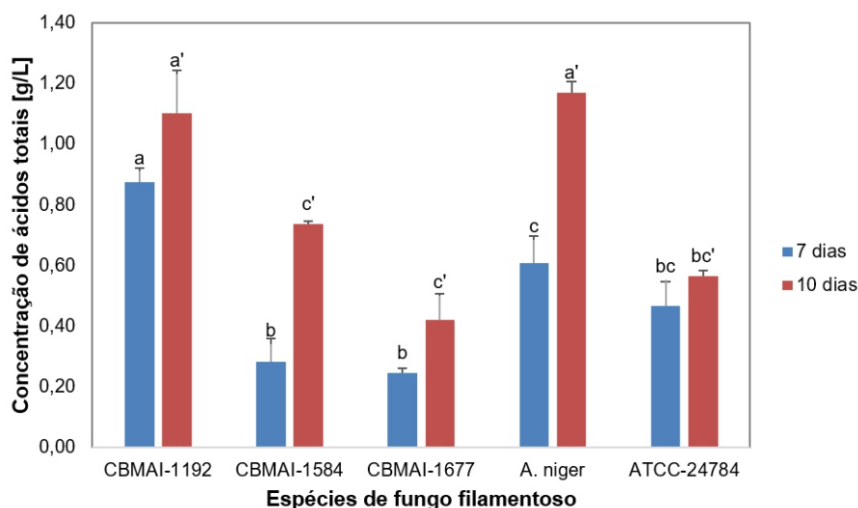
Figura 05: Concentração de glicose residual.



Os dados apresentados mostram a concentração média de glicose residual, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de Tukey, com fator de significância de 0,05 entre os tratamentos (espécies fúngicas). Ao final de 7 dias de fermentação, CBMAI-1192 e CBMAI-1677 apresentaram as maiores médias de glicose residual (7,24 e 11,65 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente). Em contraste, ATCC-24784 teve a menor concentração de glicose (3,86 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). As diferenças observadas podem refletir a capacidade variada das espécies em metabolizar glicose ao longo do tempo, com algumas cepas conservando mais glicose residual devido a uma menor atividade de consumo ou fermentação (LI et al., 2016).

As espécies CBMAI-1192 e *A. niger* também mostraram valores relativamente altos (5,35 e 6,61 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente). A mesma tendência foi observada após 10 dias de fermentação. Essas variações podem ser atribuídas a diferenças na taxa de consumo de glicose entre os fungos ao longo do período de fermentação, influenciando diretamente a produção de metabólitos, como ácidos orgânicos (Figura 06) e o desempenho geral do processo fermentativo (DONG; ZAN; LIN, 2023).

Figura 06: Concentração de ácidos totais.



Os resultados apresentados mostram a produção de ácidos orgânicos por diferentes espécies fúngicas em dois blocos, medidos como a concentração de ácido residual. Em 7 dias de fermentação, CBMAI-1192 demonstrou a maior produção de ácidos orgânicos com uma média de $0,87 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, significativamente superior às outras espécies. Em contraste, CBMAI-1584 e CBMAI-1677 apresentaram as menores produções ($0,28$ e $0,25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente), enquanto *A. niger* e ATCC-24784 ficaram entre esses extremos com médias de $0,61$ e $0,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Ao final de 10 dias, a produção de ácidos orgânicos variou, na qual *A. niger* e CBMAI-1192 mostraram maiores concentrações ($1,17$ e $1,10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente), enquanto CBMAI-1677 e ATCC-24784 apresentaram os valores menores ($0,42$ e $0,57 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente). CBMAI-1584 ainda demonstrou uma produção significativa, mas inferior a *A. niger* e CBMAI-1192.

A comparação entre os dois períodos revela uma mudança na eficiência da produção de ácidos orgânicos ao longo do tempo de fermentação. ATCC-24784 apresentou uma produção de ácidos relativamente baixa em ambas as amostragens, o que sugere uma menor eficiência na produção de ácidos orgânicos comparado com outras espécies. No entanto, as análises por HPLC indicam que ATCC-24784 produz outros compostos orgânicos que não foram quantificados pelos métodos utilizados até o momento (ISLAM et al., 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esses resultados destacam a importância de utilizar condições de fermentação otimizadas para maximizar a produção de ácidos orgânicos das diferentes espécies fúngicas, conforme suas características metabólicas e requisitos nutricionais individuais. Nesse sentido, sugere-se a realização de novos experimentos no intuito de avaliar algumas variações dos parâmetros reacionais na produção desses metabólitos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão aos órgãos de fomento CAPES, CNPQ e FAPEMIG pelo financeiro à esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

CASTELLANI, A. A viabilidade de alguns fungos patogênicos em água Destilada. Jornada de Medicina Tropical e Higiene, v. 42, p. 225-226, 1939.

CHERGUI, D. et al. Optimization of citric acid production by *Aspergillus niger* using two downgraded Algerian date varieties. Saudi Journal of Biological Sciences, [s.l.], v. 28, no 12, p. 7134–7141, 2021. ISSN: 1319562X, DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.08.013.

DONG, Y.; ZAN, J.; LIN, H. Bioleaching of heavy metals from metal tailings utilizing bacteria and fungi: Mechanisms, strengthen measures, and development prospect. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 344, 2023. ISSN: 10958630, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118511.

DUARTE, E. R. et al. Hydrolysis of lignocellulosic forages by *Trichoderma longibrachiatum* isolate from bovine rumen. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, [s.l.], v. 36, 2021. ISSN: 18788181, DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102135.

FAHIMI, A. et al. Evaluation of the sustainability of technologies to recycle spent lithium-ion batteries, based on embodied energy and carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 338, 2022. ISSN: 09596526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130493.

ILOEJE, C. O. et al. A systematic analysis of the costs and environmental impacts of critical materials recovery from hybrid electric vehicle batteries in the U.S. *iScience*, [s.l.], v. 25, no 9, 2022. ISSN: 25890042, DOI: 10.1016/j.isci.2022.104830.

ISLAM, M. K. et al. Evaluation of organic acid production potential of phosphate solubilizing fungi isolated from soils in Okinawa, Japan. *Applied Ecology and Environmental Research*, [s.l.], v. 17, no 6, p. 15191–15201, 2019. ISSN: 17850037, DOI: 10.15666/aeer/1706_1519115201.

JIN, S. et al. Improving *Aspergillus niger* seed preparation and citric acid production by morphology controlling-based semicontinuous cultivation. *Biochemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 174, 2021. ISSN: 1873295X, DOI: 10.1016/j.bej.2021.108102.

KAKSONEN, A. H. et al. Prospective directions for biohydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, [s.l.], v. 195, 2020. ISSN: 0304386X, DOI: 10.1016/j.hydromet.2020.105376.

LI, Z. et al. A study of organic acid production in contrasts between two phosphate solubilizing fungi: *Penicillium oxalicum* and *Aspergillus Niger*. *Scientific Reports*, [s.l.], v. 6, 2016. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/srep25313.

LOJANANAN, N. et al. Successive process for efficient biovalorization of Brewers' spent grain to lignocellulolytic enzymes and lactic acid production through simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 397, 2024. ISSN: 18732976, DOI: 10.1016/j.biortech.2024.130490.

LUO, Y. et al. Cr(VI) Reduction and Fe(II) Regeneration by *Penicillium oxalicum* SL2-Enhanced Nanoscale Zero-Valent Iron. *Environmental Science and Technology*, [s.l.], v. 57, no 30, p. 11313–11324, 2023. ISSN: 15205851, DOI: 10.1021/acs.est.3c01390.

NGUYEN-TIEN, V. et al. Optimising the geospatial configuration of a future lithium ion battery recycling industry in the transition to electric vehicles and a circular economy. *Applied Energy*, [s.l.], v. 321, 2022. ISSN: 03062619, DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.119230.

PAPADAKI, E. et al. Feasibility of multi-hydrolytic enzymes production from optimized grape pomace residues and wheat bran mixture using *Aspergillus niger* in an integrated citric acid-enzymes production process. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 309, 2020. ISSN: 18732976, DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123317.

RAJ, T. et al. Recycling of cathode material from spent lithium-ion batteries: Challenges and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 429, 2022. ISSN: 18733336, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128312.

SETHURAJAN, M.; GAYDARDZHIEV, S. Bioprocessing of spent lithium ion batteries for critical metals recovery – A review. *Resources, Conservation and Recycling*, [s.l.], v. 165, 2021. ISSN: 18790658, DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105225.

TORRES, M. A. et al. Vinasse as a substrate for inoculant culture and soil fertigation: Advancing the circular and green economy. *Science of the Total Environment*, [s.l.], v. 887, 2023. ISSN: 18791026, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164014.

ZHAO, S. et al. Environmentally-friendly biorecovery of manganese from electrolytic manganese residue using a novel *Penicillium oxalicum* strain Z6-5-1: Kinetics and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 446, 2023. ISSN: 18733336, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130662.

Análise comparativa dos dados de esgotamento sanitário de Minas Gerais

Políticas públicas, legislação e meio ambiente

Isabelly Leite de Souza

Aluna de mestrado em Engenharia Ambiental,
Universidade Federal de Lavras - UFLA,
Departamento de Engenharia Ambiental - DAM,
isabellyleitecvo@gmail.com.

Alvaro Ferney Algarra Rincon

Aluno de mestrado em Engenharia Ambiental,
Universidade Federal de Lavras - UFLA,
Departamento de Engenharia Ambiental - DAM,
alvaro.rincon@estudante.ufla.br.

Gabriela Nery Souza

Aluna de mestrado em Engenharia Ambiental,
Universidade Federal de Lavras - UFLA,
Departamento de Engenharia Ambiental - DAM,
gabrielanery.ufjf@hotmail.com.

Mateus Pimentel de Matos

Prof. Dr. Universidade Federal de Lavras - UFLA
Departamento de Engenharia Ambiental,
mateus.matos@ufla.br.

Resumo

Os índices de coleta e tratamento de esgoto são variáveis representativas das condições de saneamento de um local, sendo que o adequado conhecimento pode auxiliar na tomada de decisões com relação às políticas de investimento, sobretudo após a publicação do novo Marco de Saneamento. Informações a respeito dos índices podem ser encontradas em diferentes bases de dados, havendo, por vezes, diferenças entre os valores apresentados. A partir disso, com a realização do presente trabalho, objetivou-se analisar os índices de saneamento para os 853 municípios do estado de Minas Gerais reportados nas bases de dados SNIS, IDE-SISEMA e ATLAS ESGOTOS, visando avaliar o panorama geral de tratamento de esgotamento, inferindo sobre as informações disponíveis nos portais. Foram utilizados testes de aderência e significância para avaliar a distribuição e as diferenças estatísticas dos grupos de cada base de dados, assim como a aplicação de um teste de correlação entre os índices de coleta e tratamento com a população de cada município. Como resultado, verificou-se que apenas 49,70% dos municípios reportaram os índices de tratamento e coleta nas 3 bases de dados. Além disso, aproximadamente 25% dos dados de cada índice são atípicos com relação ao agrupamento dos índices em cada base de dados. No final, observou-se que somente 3,18% da variância dos índices de coleta e tratamento poderiam ser explicados pelo porte populacional do município, sugerindo haver outras variáveis de influência nos níveis de atendimento de saneamento.

Palavras-chave: Saneamento; Estatística; Gestão Ambiental.

INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos são responsáveis pela maior parte dos lançamentos que resultam em contaminação de corpos d'água, ainda que sejam menos concentrados do que outros despejos, em razão da sua grande geração (Campos Salles Figueiredo, 2019; Teixeira de Matos; Pimentel de Matos, 2017). Considerando a população atual, de mais de 203,08 milhões de habitantes, que desses, 97,80% possuem banheiro em suas residências, e tendo produção diária per capita de 0.15 m³/hab.dia, resultaria em uma vazão de 29,79 milhões de m³ por dia, equivalente à 11917 piscinas olímpicas (IBGE, 2023).

Em função da grande diversidade de substâncias presentes no esgoto (Orner et al., 2022; Serra Comineti; Schlindwein; de Oliveira Hoeckel, 2024), o seu lançamento sem o devido tratamento podem resultar em diversos impactos negativos ambientais, sociais e econômicos como a eutrofização do curso d'água; depleção dos níveis de oxigênio dissolvido (OD); redução da diversidade de organismos; o aumento dos níveis de diferentes contaminantes, dos quais pode-se destacar nutrientes (N e P), matéria orgânica, elementos potencialmente tóxicos e de preocupação emergente, como desreguladores endócrinos e microplásticos. (Junaid et al., 2022; Podbielska; Szpyrka, 2023; Vandermeersch et al., 2015); também podem contribuir para a liberação de gases de efeito estufa (GEE), salinização e redução da capacidade de infiltração/percolação do solo; contaminação das águas subterrâneas; redução da biodiversidade, entre outros (Zeng et al., 2024)

Do ponto de vista social, há relação com saúde humana, bem-estar social, produtividade no trabalho e aprendizado escolar, dentre outros possíveis impactos (ITB, 2022). Dados da WHO, (2014) apontam que a cada 1 dólar investido em saneamento, economiza-se 4,3 dólares na área da saúde. Além de economia, e possibilidade de investimentos em outras áreas, aumentar os níveis de saneamento também trazem benefícios econômicos para diversas atividades como turismo e atração de novos empreendimentos (Suazo; Viana-Lora, 2022). Por esses e outros motivos, foi publicado o novo Marco de Saneamento, que traz, dentre diversas diretrizes, a meta de atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 2033 (Congresso Nacional da República, 2020). Índice muito distante do que é encontrado hoje, cerca de 50% no país (IBGE, 2022).

Assim, deve-se realizar o planejamento nas esferas municipal, estadual e federal para aumentar os índices de tratamento, permitindo atendimento da legislação, a melhora da qualidade de vida e a preservação do meio ambiente. Como primeira etapa, deve-se definir áreas prioritárias, da adoção dos melhores serviços (público ou privado), em concepções acessíveis para a localidade (custos x eficiência de sistemas de tratamento de esgotos), que tem como critério a análise criteriosa dos dados existentes. Atualmente existem bases de dados que não estão interligadas, podendo haver discordâncias e dificultando a análise pelos órgãos competentes.

Dessa forma, com a realização do presente trabalho, objetivou-se realizar uma análise comparativa dos dados de coleta e tratamento de esgoto presente em diferentes plataformas (ATLAS Esgotos, SNIS e IDE-SISEMA) para os municípios do estado de Minas Gerais, e avaliar o panorama de saneamento estadual, inferindo também haver relação entre o tamanho da população com os índices de esgotamento sanitário registrados.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

O estado de Minas Gerais é o segundo estado mais populoso do país com aproximadamente 20.539.989 habitantes que estão divididos em 853 municípios. O estado possui área de aproximadamente 586.513,983 km² e Índice de Desenvolvimento Humano, também conhecido como IDH, de 0,774, o quarto maior do país (IBGE, 2023). Segundo Fundação Nacional de Saúde, (2019) cerca de 85% da população do estado está localizada em centros urbanos, o que significa que a maior parte do estado está sujeita à distribuição de água e esgotamento sanitário por empresas de saneamento. O que contrasta com os domicílios rurais, nos quais somente 7,7% dos domicílios rurais estão ligados à rede de coleta de esgotos, e utilizam, em sua maioria, soluções individuais.

Levantamento de dados

Os dados de Índice de Coleta e Índice de Tratamento foram coletados das plataformas ATLAS Esgotos, SNIS e IDE-SISEMA, considerando apenas o estado de Minas Gerais.

Atlas de Esgotos

O Atlas Esgotos possui 2013 como ano de referência (dados de 2019 referem-se ao desempenho das estações de tratamento e não o atendimento municipal) e 5.570 municípios foram analisados. Informações primárias de 3.005 cidades foram obtidas através do fornecimento de dados de 25 companhias estaduais e 475 prestadores municipais públicos e privados. Para os 2.565 municípios restantes foram utilizadas informações provenientes de pesquisas realizadas anteriormente como a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)

O desenvolvimento do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos teve como referência o ano de 2021 e 4.226 municípios foram avaliados para esgotamento sanitário. As informações foram fornecidas por 2.864 prestadores de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, compostos por: companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e prefeituras.

IDE-SISEMA

Os dados utilizados na plataforma são oriundos do Panorama “Abastecimento de água e Esgotamento Sanitário – Semad” e tem como referência o ano de 2020. Os dados são enviados periodicamente pelos prestadores de serviços de água e esgoto Copasa (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) e Copanor (Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais), além das autarquias municipais de Itabira e de Passos. É uma base de dados que considera somente o estado de Minas Gerais.

Verifica-se, portanto, que os dados são oriundos de anos diferentes e obtidos por distintas fontes de captação, podendo haver discrepâncias entre os panoramas apresentados por esses.

Processamento de dados

A fim de calcular os índices de coleta e tratamento para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em que não é apresentada a porcentagem atendida e sim a população que possui serviços de coleta e o volume coletado e tratado, foram utilizadas equações apresentadas a seguir, empregando os índices disponíveis na plataforma. Essas equações estabelecem correlações entre diversas variáveis, convertendo-as em índices para proporcionar uma compreensão mais acessível tanto para a população quanto para a própria companhia de saneamento.

$$\text{Índice de Coleta} = \frac{\text{População atendida com esgotamento (ES026)}}{\text{População Total Urbana (G06B)}} * 100$$

$$\text{Índice de Tratamento} = \frac{\text{Volume tratado (ES006)}}{\text{Volume coletado (ES005)}} * \text{Índice de Coleta}$$

Análise de dados

A formação dos grupos de amostra baseou-se nos dados obtidos por meio das plataformas Atlas Esgotos, SNIS e IDE-SISEMA, em que foram selecionados dois conjuntos de dados distintos. No Grupo A, estão incluídos os 423 municípios presentes simultaneamente nas três plataformas, enquanto no Grupo B, foram considerados os 853 municípios presentes apenas nas plataformas IDE e Atlas Esgotos, com inferências a respeito dos serviços de coleta e tratamento de esgoto. Esses dados foram submetidos a análises de normalidade, de forma a inferir sobre distribuição deles; estatística descritiva; testes de comparação entre grupos de dados; e análise de correlação. As análises estatísticas foram realizadas com emprego do software RStudio (R Core Team, 2023), e interpretação dos dados foram feitos mediante gráficos box plot e dispersão. Para avaliar as diferenças entre grupos independentes nos valores, conduziram-se duas análises estatísticas distintas.

Análise 1 (Grupo A): Kruskal-Wallis Analysis of rank

Análise 2 (Grupo B): Mann-Whitney U test

Sabe-se que vários fatores podem interferir nos índices de atendimento com serviços de saneamento, dentre esses, o tamanho da população, razão pela qual pode ser pertinente avaliar os grupos também com subdivisões quanto ao número de habitantes. Portanto, ao utilizar da divisão empregada por Nascimento, (2021), definiu-se classes como: Porte pequeno I: até 20.000 habitantes; Porte pequeno II: 20.001 até 50.000 habitantes; Porte médio: 50.001 até 100.000 habitantes; Grande porte: 100.001 a 900.000.

Assim, com a finalidade de avaliar possíveis relações entre Índice de Coleta, Índice de Tratamento e População Total, utilizou-se do teste de Spearman e calculou-se o coeficiente de determinação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística descritiva

Os resultados obtidos nas análises descritivas foram apresentados na Tabela 1. Observa-se que há dados de saneamento simultaneamente nas três plataformas somente para 423 municípios, o que representa apenas 49,58% das cidades e 40.81% da população em Minas Gerais. Essa limitação se deve ao fato de que na base SNIS, apenas prefeituras e autarquias forneceram dados de saneamento. Por outro lado, a análise feita no ATLAS ESGOTO com base no atendimento determinou que, a prestação do serviço de esgotamento sanitário em Minas Gerais se encontra executada em 57,00% pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), 18% pelas prefeituras municipais (PM), 12% pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), 6% pelos departamentos municipais de água e esgoto (DMAE) e 7% outras entidades. Portanto, a limitação da análise do Grupo A se pode explicar em função da ausência de informação dos indicadores de saneamento relacionados com os maiores prestadores de serviço do estado.

Tabela 1: Estatística descritiva para o Grupo A.

Parâmetro	Índice de Coleta			Índice de Tratamento		
	SNIS	IDE	ATLAS	SNIS	IDE	ATLAS
Dados	423	423	423	423	423	423
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q1	95,75	91,08	83,02	0,00	0,00	0,00
Mediana	99,64	99,20	90,84	0,00	0,00	0,00
Média	93,07	90,33	85,96	20,70	22,29	15,35
Q3	100,00	100,00	96,55	18,22	36,92	0,00
Des.Padrão	16,98	20,18	17,46	36,67	37,32	32,09
Skewness	-3,61	-2,93	-2,73	1,41	1,23	1,83
Kurtosis	13,76	8,58	8,79	0,18	-0,31	1,63
W	0,46	0,54	0,69	0,59	0,61	0,522
p-value	8.80e-34***	8.80e-34***	8.80e-34***	1.60e-30***	1.60e-30***	1.60e-30***

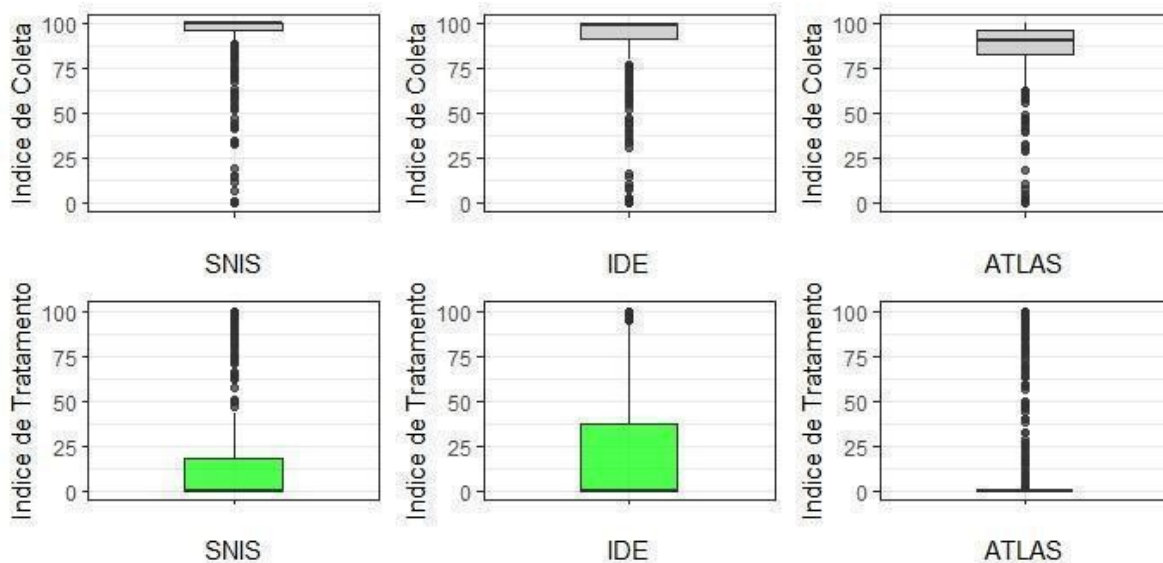
Níveis de significância: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$.

Os coeficientes de skewness e kurtosis encontrados sugerem distribuição dos dados que fogem a distribuição normal, o que é corroborado pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, devendo utilizar de testes não paramétricos (Grech; Calleja, 2018). E essa condição era a esperada, já que nas ciências ambientais, comumente os dados não apresentam distribuição normal. Ao comparar as bases de dados (Tabela 1) com os valores fornecidos pelas plataformas correspondentes, observamos divergências nos índices do SNIS. Em relação ao índice de esgoto tratado, a plataforma SNIS

disponibiliza o valor de 44,10 % para os municípios do grupo A, enquanto a análise feita estimou um índice de tratamento de esgoto de 20,70%.

Verifica-se, assim, que os valores são distintos entre as 3 plataformas, apresentando diferenças nos valores de mediana e média encontrados, assim como desvio padrão. No entanto, essa divergência pode ser explicada pelo ano de coleta dos dados, Atlas de Esgotos (2013), IDE-SISEMA (2020) e para o SNIS (2021), já que ao considerar a população atendida para o grupo A e o ano de coleta de dados para cada base, os índices mostraram que 91.95% (2013), 92.94% (2020) e 92,22% (2021) da população tiveram coleta de esgoto. A partir dessa informação, se pode afirmar que houve uma ligeira melhora do cenário de coleta de esgoto, como se evidencia na Tabela 1, já que a porcentagem da população atendida não representou uma variação maior de 1% na comparativa feita com os anos de coleta de dados. Na Figura 1, é apresentado o boxplot para os índices de coleta e tratamento para a base de dados com 423 municípios mineiros, permitindo visualizar de melhor forma a variação dos dados para cada índice.

Figura 1: Índices de saneamento para o Grupo A



Com base no apresentado na Tabela 1 e na Figura 1, percebe-se que há bons índices de coleta e melhoras com o passar do tempo, mas o maior problema é o tratamento do esgoto coletado. Sabe-se que a canalização e adução do esgoto tratado é uma parte importante do custo da universalização do saneamento. E que, por essa razão, muitos autores sugerem a descentralização do tratamento, com instalação de unidades menores, com menor redes de coleta, para permitir um maior acesso da população aos serviços (Ahmad; Satrovic, 2023; Kligerman et al., 2023; Rabaey et al., 2020). Porém, pela observação dos dados, o que é falta é um “passo a mais”, com investimentos nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Por outra parte, na Tabela 2 encontram-se resumidos os resultados da análise comparativa feita para o Grupo B, com a totalidade dos municípios de Minas Gerais. Ao comparar os índices de saneamento da totalidade dos municípios de Minas Gerais reportados pelas respectivas plataformas com a análise feita neste trabalho, novamente observa-se divergências significativas nos índices.

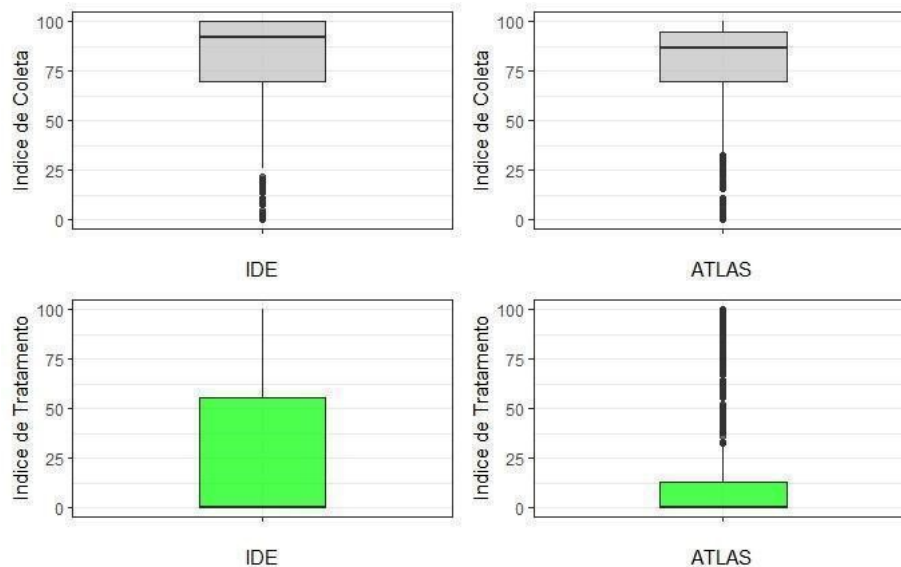
Tabela 2: Estatística descritiva para o Grupo B.

Parâmetro	Índice de Coleta		Índice de Tratamento		
	IDE	ATLAS	IDE	ATLAS	
Dados		853	853	853	853
Min		0,00	0,00	0,00	0,00
Max		100,00	100,00	100,00	100,00
Q1		70,00	69,77	0,00	0,00
Mediana		92,20	86,47	0,00	0,00
Média		78,62	75,91	24,31	17,32
Q3		99,90	94,68	55,40	12,75
Des.Padrão		29,22	27,65	36,02	32,46
Skewness		-1,52	-1,59	1,04	1,60
Kurtosis		1,21	1,48	-0,62	0,92
W		0,74	0,76	0,68	0,58
p-value		1,7e-34***	1,9e-33***	2,9e-37***	2,9e-37***

Níveis de significância: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05.

No caso do Atlas Esgotos, verifica-se que, que a plataforma reportou que 86,00% do esgoto é coletado e 44,00% é tratado, porém, a estática descritiva mostrou que apenas o 75.91% do esgoto é coletado e 17,32% é tratado. Essas discrepâncias também são evidenciadas para os índices de saneamento da plataforma IDE, coletado (87,64%) e tratado (53,72%), já o estudo mostrou um índice da coleta de esgoto em 78,62% e tratado de 24,31%. Portanto, essas informações colocam de manifesto a importância de uma análise criteriosa dos dados fornecidos pelas plataformas para estudo do panorama de saneamento no Brasil. Já na Figura 2, foi evidenciado que existem melhoras nos índices de saneamento, especificamente na coleta de esgoto, já que o índice de atendimento populacional encontrado a partir dos dados foi de 42.48% (2013) e 84.09% (2020).

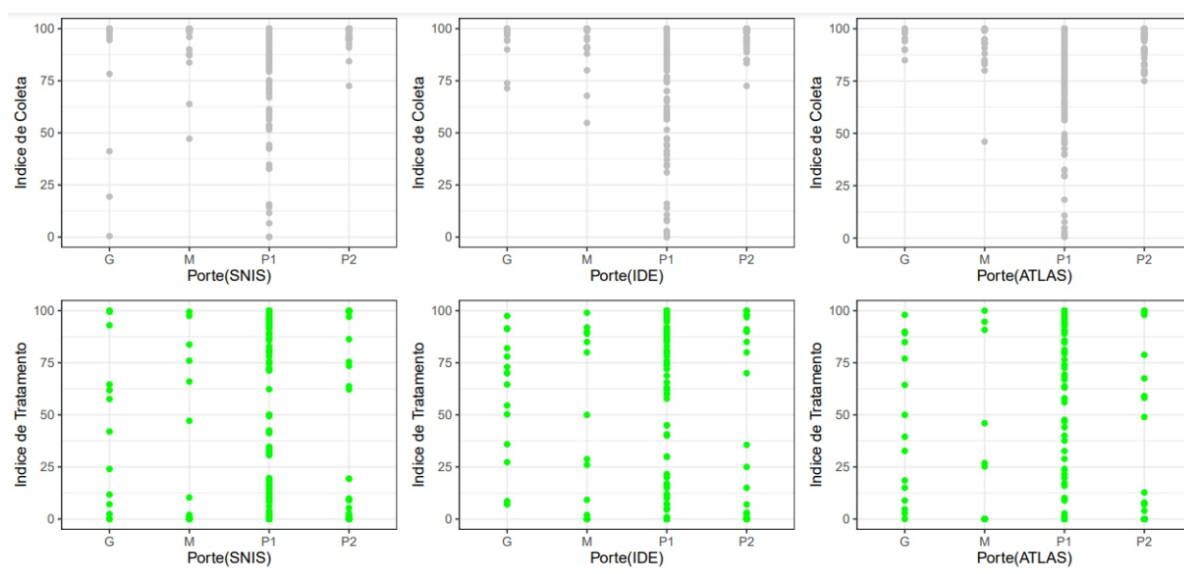
Figura 2: Índices de coleta e tratamento para o Grupo B



Além disso, observa-se um aumento de tratamento de esgoto desde 2013 até 2020. No entanto, os índices de saneamento para o estado de Minas Gerais em comparação com os índices nacionais são melhores e piores ao mesmo tempo, segundo a análise

feita. Ao considerar os índices da totalidade dos municípios reportados na plataforma IDE-Sisema (2020), observou-se uma coleta de esgoto de 78,62% e tratamento de 24,31% enquanto para o Brasil a coleta de esgoto foi estimada em 55,8% e o tratamento em 51,2% de acordo com (Kligerman et al., 2023). Finalmente, na figura 3 foi apresentada a distribuição dos índices de saneamento do Grupo A, o que evidenciou que a maior parte dos municípios pertencem a categoria P1 (83,02%), às outras categorias têm uma participação minoritária, com P2 (9,20%), M (4,25%) e G (3,54%). Uma distribuição semelhante foi observada para o Grupo B, P1 (81,71%), P2 (9,85%), M (4,45%) e G (3,98%).

Figura 3: Distribuição dos índices de coleta por porte dos municípios.



Avaliação das diferenças significativas

A partir dos resultados obtidos dos testes não paramétricos apresentados na tabela 3, pode-se afirmar que os conjuntos de dados do Grupo A e Grupo B não fazem parte da mesma população, por tanto, não apresentam dependências permitindo validar a análise comparativa do estudo.

Tabela 3: Teste Kruskal -Wallis e Mann-Whitney.

Índice	Grupo A		Grupo B	
	Coleta	Tratamento	Coleta	Tratamento
Dados	423	423	853	853
p-value	< 2,20e-16***	0,002**	8,15e-13***	7,50e-16***

Níveis de significância: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05.

Correlação entre População e Índices

De acordo com os dados dispostos na Tabela 4, pode-se avaliar que para o Grupo A foi encontrada correlação significativa entre as variáveis População e Índices de Coleta e Tratamento de acordo com Carvalho Pires et al., (2018). Já para o Grupo B (Atlas e IDE-SISEMA), foi significativa somente para a base de dados de ATLAS ESGOTO (para coleta e tratamento). Em relação aos índices de correlação Spearman e Kendall para o grupo A se pode afirmar que existe uma correlação baixa para todas as bases de dados. Adicionalmente, apenas o 3,13% do índice de coleta da base ATLAS ESGOTO, pode ser explicado pela população. O mesmo cenário foi evidenciado para o Grupo B, uma correlação baixa segundo os coeficientes de Spearman e Kendall. Finalmente, o coeficiente de determinação mostrou que apenas o 3,17 % do tratamento de esgoto pode ser explicado pela população.

Tabela 4: Correlação entre população e índices.

Grupo A	Índice de Coleta			Índice de Tratamento		
	Parâmetro	SNIS	IDE	ATLAS	SNIS	IDE
Teste. Cor	0,120	0,430	6,00e-4***	2,44e-6***	2,25e-7***	2,00e-4***
R	-0,043	0,035	0,071	0,118	0,153	0,169
R ² (%)	0,190	1,220	3,130	0,104	0,024	0,000
.	-0,076	0,039	0,165	0,226	0,248	0,180
.	-0,053	0,026	0,014	0,171	0,026	0,140
Grupo B	Índice de coleta		Índice de Tratamento			
	IDE	ATLAS	IDE	ATLAS		
Teste. Cor	0,902	2,723e-05***	< 2,2e-16***	2,214e-14***		
R	0,049	0,077	0,178	0,178		
R ² (%)	0,24	0,591	3,178	3,168		
ρ	0,004	0,143	0,348	0,257		
τ	0,003	0,096	0,003	0,198		

Níveis de significância: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05.

Correlação: ρ Spearman τ Kendall

CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados, verifica-se que:

- Apenas 49,7% dos municípios mineiros têm índices de saneamento reportados nas três plataformas simultaneamente, havendo dados de 853 municípios somente para duas (IDE-SISEMA e Atlas de Esgotos) das bases analisadas. Além disso, não existem divergências significativas entre as três plataformas analisadas (IDE-SISEMA, Atlas de Esgotos e SNIS), com base nos testes estatísticos utilizados; No entanto, a base de dados IDE-SISEMA

é a mais representativa do panorama de saneamento devido ao fato de estar atualizada e completa.

- Apenas 3,17% da variação dos índices de coleta e tratamento podem ser explicados pelo porte populacional do município depende da base de dados escolhida. Por outra parte, a análise determinou que o índice de tratamento do Grupo A é uma amostra representativa da população de Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

Às agências de fomento CAPES e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M.; SATROVIC, E. Relating fiscal decentralization and financial inclusion to environmental sustainability: Criticality of natural resources. *Journal of Environmental Management*, [s. l.], v. 325, p. 116633, 2023.

CAMPOS SALLES FIGUEIREDO, I. Tratamento de esgoto na zona rural. 2019. 1–318 f. - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=465901>. Acesso em: 22 jun. 2024.

CARVALHO PIRES, M. et al. Estatística não paramétrica básica no software R: uma abordagem por resolução de problemas. Belo Horizonte: [s. n.], 2018. Disponível em: www.coorddest.ufpr.br/wp-content/uploads/2016/08/aluno-. Acesso em: 30 nov. 2023.

CONGRESSO NACIONAL DA REPÚBLICA. Atualização do marco legal do saneamento básico. Brasil: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: 22 jul. 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Programa nacional de saneamento rural (PNSR). Brasília: [s. n.], 2019. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb. Acesso em: 22 jul. 2024.

GRECH, V.; CALLEJA, N. WASP (Write a Scientific Paper): Parametric vs. non-parametric tests. *Early Human Development*, [s. l.], v. 123, p. 48–49, 2018.

IBGE. Panorama do Brasil. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 24 mar. 2024.

IBGE. Panorama do Estado de Minas Gerais. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 11 nov. 2023.

JUNAID, M. et al. Wastewater plastisphere enhances antibiotic resistant elements, bacterial pathogens, and toxicological impacts in the environment. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 841, p. 156805, 2022.

KLIGERMAN, D. C. et al. Path toward Sustainability in Wastewater Management in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [s. l.], v. 20, n. 16, p. 6597, 2023.

NASCIMENTO, P. Transparência nos municípios brasileiros: as dimensões porte populacional e região importam?. *Revista Sul-Americana de Ciência Política*, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 137–156, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/rsulacp/article/view/20440>. Acesso em: 31 out. 2023.

ORNER, K. D. et al. Environmental and Economic Impacts of Managing Nutrients in Digestate Derived from Sewage Sludge and High-Strength Organic Waste. *Environmental Science & Technology*, [s. l.], v. 56, n. 23, p. 17256–17265, 2022.

PODBIELSKA, M.; SZPYRKA, E. Microplastics – An emerging contaminants for algae. Critical review and perspectives. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 885, p. 163842, 2023.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RABAEY, K. et al. The third route: Using extreme decentralization to create resilient urban water systems. *Water Research*, [s. l.], v. 185, p. 116276, 2020.

SERRA COMINETI, C. da S.; SCHLINDWEIN, M. M.; DE OLIVEIRA HOECKEL, P. H. Socio-environmental externalities of sewage waste management. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 945, p. 174109, 2024.

SUAZO, P.; VIANA-LORA, A. The Contribution of Mycological Tourism to Well-Being, the Economy and Sustainable Development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [s. l.], v. 19, n. 24, p. 17027, 2022.

TEIXEIRA DE MATOS, A.; PIMENTEL DE MATOS, M. Disposição de águas residuárias no solo e sistemas alagados construídos. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v. 1

VANDERMEERSCH, G. et al. Environmental contaminants of emerging concern in seafood – European database on contaminant levels. *Environmental Research*, [s. l.], v. 143, p. 29–45, 2015.

WHO. UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS) 2014 . [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241508087>. Acesso em: 22 jul. 2024.

ZENG, M. et al. Efficient rural sewage treatment with manganese sand-pyrite soil infiltration systems: Performance, mechanisms, and emissions reduction. *Bioresource Technology*, [s. l.], v. 393, p. 130021, 2024.

DESASTRES AMBIENTAIS E A VULNERABILIDADE SOCIAL: Um estudo de comunidades ribeirinhas em Governador Valadares

Políticas públicas, legislação e meio ambiente

Dayane Gonçalves Ferreira
Profa. Ms. Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental,
dayane.ferreira@univale.br

Vanessa Andrade Ferreira
Mestranda na Universidade Vale do Rio Doce
Gestão Integrada do Território - GIT,
vanessa.ferreira.@univale.br

Girley Batista Santana
Mestrando na Universidade Vale do Rio Doce
Gestão Integrada do Território - GIT,
girley.santana@univale.br

Bianca Gaigher Uzais
Graduanda na Universidade Vale do Rio Doce
Biomedicina, bianca.uzais@univale.br

Hernani Ciro Santana
Prof. Dr. Universidade Vale do Rio Doce
Engenharia Civil e Ambiental,
hernani.santana@univale.br

Resumo

Os desastres ambientais no Brasil, como as enchentes em Governador Valadares, expõem a vulnerabilidade das comunidades e as falhas estruturais nas políticas públicas de gestão de riscos. Este estudo explora como esses eventos afetam diretamente a população local, revelando tanto a insuficiência das respostas institucionais quanto a resiliência das comunidades afetadas. Em Governador Valadares, as enchentes recorrentes têm mostrado um aumento na frequência e severidade, o que reflete a ineficácia das medidas preventivas e de mitigação adotadas até agora. A população, que já enfrenta desafios como a degradação ambiental e a contaminação por rejeitos de mineração, tem sua confiança nas instituições abalada, o que dificulta ainda mais a implementação de ações eficazes. Apesar disso, a coesão comunitária e a solidariedade emergem como fatores essenciais para a sobrevivência e recuperação diante das adversidades. Este estudo conclui que, para melhorar a resiliência das comunidades e prevenir futuros desastres, é fundamental desenvolver políticas públicas mais inclusivas e adaptativas, que levem em consideração as experiências e necessidades específicas da população de Governador Valadares. A integração das vozes locais nas decisões de gestão de riscos pode fortalecer a capacidade da cidade de enfrentar e se recuperar de eventos extremos.

Palavras-chave: Desastres ambientais; Resiliência comunitária; Governança de riscos; Percepção de risco; Políticas públicas.

INTRODUÇÃO

Os desastres ambientais no Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul e nas regiões afetadas pelos rompimentos das barragens em Mariana e Brumadinho, evidenciam uma profunda vulnerabilidade das comunidades afetadas, bem como

as falhas estruturais das políticas públicas. Para compreender esses eventos de maneira mais profunda, é essencial incorporar as perspectivas oferecidas por teóricos como Beck (2011) e Guivant (2016), cujos trabalhos exploram as dinâmicas de risco, a percepção pública e a governança ambiental em sociedades modernas (ROQUE, 2022).

No Rio Grande do Sul, os desastres climáticos que têm ocorrido ao longo da última década podem ser interpretados à luz da teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck. Este argumenta que, nas sociedades contemporâneas, o risco é uma característica central, e os desastres ambientais são manifestações desses riscos que resultam da modernidade e da industrialização. Conforme relatado por Nexo Jornal (2024), "uma década de emergência ambiental no estado expôs a insuficiência das políticas públicas em enfrentar a crescente frequência e severidade dos eventos climáticos extremos". Essa insuficiência não é apenas um reflexo de políticas inadequadas, mas também de uma sociedade que, como o autor descreve, "produz seus próprios perigos", muitas vezes sem estar totalmente consciente das consequências de suas ações industriais e econômicas (NEXO JORNAL, 2024).

Por outro lado, Guivant complementa essa perspectiva ao explorar como as percepções de risco são moldadas pelo contexto social e cultural das comunidades. Ele argumenta que a maneira como as pessoas percebem e respondem aos riscos está intimamente ligada à confiança que elas depositam nas instituições e nas autoridades responsáveis por sua proteção. No Rio Grande do Sul, as enchentes revelam essa relação tensa entre população e governo. O Brasil de Fato (2024) aponta que "é preciso responsabilizar os atores envolvidos e implementar medidas preventivas mais eficazes para evitar a repetição dessas tragédias". A desconfiança nas instituições, como discutido por Guivant, exacerba a sensação de vulnerabilidade e dificulta a implementação de medidas eficazes de prevenção e mitigação de riscos (PIGA, 2022; GUIVANT, 2016).

Logo, a situação no Rio Grande do Sul também revela um crescimento preocupante de doenças associadas aos desastres climáticos, conforme relatado pela Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (2024). Este aumento pode ser visto como um exemplo do que Beck chama de "riscos manufaturados" – riscos que surgem não apenas de desastres naturais, mas de interações complexas entre a natureza e as atividades humanas, como a falta de saneamento adequado e a degradação ambiental. Guivant enfatiza que a saúde pública em tais contextos está intrinsecamente ligada à gestão ambiental. Ela argumenta que "a saúde das comunidades não pode ser dissociada do ambiente em que vivem, e as políticas de saúde pública devem integrar essa visão ecológica para serem verdadeiramente eficazes" (GUIVANT, 2016).

A cronologia dos eventos no RS, detalhada pelo G1 (2024), mostra que os desastres não são eventos isolados, mas parte de um padrão recorrente que exige uma resposta mais coordenada e eficaz. Este padrão de repetição se encaixa na noção de Beck de uma "normalização do risco", onde os desastres se tornam tão frequentes que a sociedade começa a aceitá-los como parte do cotidiano, em vez de vê-los como exceções que exigem ação urgente. Guivant, em seu trabalho, questiona essa normalização e destaca a importância de fortalecer a percepção pública do risco como uma forma de mobilizar a ação coletiva. Ela argumenta que "quando os riscos se tornam normalizados, a capacidade de resposta da sociedade diminui, e isso pode ter consequências devastadoras para a saúde e segurança das comunidades" (GUIVANT, 2016).

Comparando os desastres no Rio Grande do Sul com os eventos em Mariana e Brumadinho, encontramos um terreno fértil para aplicar as teorias de Beck e Guivant. Os rompimentos de barragens em Mariana e Brumadinho são exemplos claros do que Beck descreve como "catástrofes da modernidade" – desastres que resultam diretamente de falhas na gestão industrial e nas políticas de segurança, exacerbadas por interesses econômicos que priorizam o lucro sobre a segurança. Oliveira (2023) observa que "as enchentes recentes amplificaram os impactos das tragédias de Mariana e Brumadinho, destacando a insuficiência das respostas governamentais para proteger as populações vulneráveis". Este comentário ressalta a ideia central de Beck de que, em uma sociedade de risco, os desastres muitas vezes são exacerbados pela inação e pela incapacidade das instituições de prever e mitigar os riscos associados às suas próprias operações (MILANEZ, 2024; GUIVANT, 2016).

Guivant oferece uma perspectiva adicional ao explorar como as comunidades afetadas por esses desastres percebem e respondem ao risco. Ela argumenta que a percepção de risco é moldada por uma combinação de fatores sociais, culturais e políticos, e que a confiança nas instituições é fundamental para a mobilização das comunidades em resposta a desastres. Em Mariana e Brumadinho, a desconfiança nas respostas institucionais é palpável. Milanez (2024) afirma que "a falta de ações proativas na prevenção e no manejo de desastres compromete a confiança da população nas instituições, resultando em uma sensação de abandono que impede a recuperação e a resiliência". Guivant complementaria essa análise ao apontar que, sem confiança nas instituições, as comunidades têm dificuldade em se organizar e mobilizar recursos para se protegerem, o que agrava ainda mais a sua vulnerabilidade (BESERRA, 2023; CUNICO 2022).

Além disso, a gestão dos efeitos desses desastres industriais tem sido marcada por uma falta de responsabilização e por uma resposta institucional inadequada. Delbono (2022) enfatiza que "a gestão dos efeitos dos desastres industriais no Brasil continua a ser marcada pela ineficácia, com pouca responsabilização das empresas envolvidas e uma resposta institucional inadequada". Isso se alinha com a crítica de Beck sobre a "irresponsabilidade organizada", onde os responsáveis pelos riscos muitas vezes não são responsabilizados devido à complexidade legal e às redes de poder que protegem os interesses econômicos. Guivant, por sua vez, destacaria a importância de uma maior transparência e participação pública nas decisões relacionadas à gestão de riscos, como uma forma de aumentar a confiança nas instituições e melhorar a governança ambiental (SANTANA, 2019).

No que diz respeito à comunicação de riscos, Guivant e Santana argumentam que a eficácia das políticas de gestão de desastres depende não apenas da capacidade técnica de lidar com crises, mas também da capacidade das instituições de comunicar riscos de maneira clara, transparente e acessível. Em Governador Valadares, por exemplo, a inconsistência nas medições de enchentes entre diferentes órgãos, como o SAAE e a CPRM, gerou confusão e dificultou a coordenação das respostas comunitárias. Silva, Machado e Ferreira (2024) destacam que "a eficácia da gestão de desastres está intimamente ligada à clareza e consistência das informações fornecidas à população, e a falta dessas qualidades apenas amplifica a crise de confiança nas autoridades". Santana complementaria esta análise ao enfatizar que "a comunicação eficaz é fundamental para a mobilização das comunidades e para garantir que as políticas públicas sejam eficazes na proteção das populações vulneráveis". Sem uma comunicação clara e confiável, as medidas de mitigação de riscos são frequentemente vistas com ceticismo e podem até ser ignoradas, o que agrava as consequências dos desastres.

A questão da governança dos recursos naturais em áreas vulneráveis, como a Serra da Gandarela e a Serra da Moeda, exemplifica os desafios enfrentados pelas comunidades na luta contra os interesses econômicos que ameaçam suas vidas e meios de subsistência. Beck descreve esses conflitos como características de uma sociedade de risco, onde o desenvolvimento econômico é frequentemente priorizado em detrimento da segurança ambiental e da justiça social. Conexão Planeta (2024) relata que "os projetos de mineração propostos na Serra da Gandarela representam uma ameaça significativa às reservas hídricas, ampliando os riscos para as comunidades locais". A resistência das comunidades locais a esses projetos reflete o que Guivant chamaria de "percepção ativa do risco", onde as populações afetadas não apenas reconhecem os perigos, mas também se mobilizam para combatê-los, apesar das barreiras institucionais e políticas (OLÍMPIO, 2024).

Essa mobilização é também evidente na Serra da Moeda, onde a expansão da mineração pela Gerdau tem gerado fortes reações de ambientalistas e moradores locais. Assembleia Legislativa de Minas Gerais (2024) aponta que "a expansão da mineração na Serra da Moeda sem a devida consideração pelos impactos ambientais e sociais exemplifica a falta de integração entre políticas de desenvolvimento econômico e preservação ambiental". Aqui, tanto Beck quanto Guivant concordariam que a governança ambiental deve ser reavaliada para incorporar as vozes e preocupações das comunidades locais, garantindo que o desenvolvimento econômico não comprometa a segurança e o bem-estar das populações mais vulneráveis.

Considerando a constante preocupante da ineficácia das políticas públicas e a falha na integração das diversas dimensões necessárias para a prevenção e gestão eficaz desses eventos, torna-se crucial realizar uma análise dos desastres ambientais ocorridos no Rio Grande do Sul, em Mariana e Brumadinho, bem como nas regiões vulneráveis, como a Serra da Gandarela e a Serra da Moeda.

Objetiva-se analisar como as enchentes em Governador Valadares afetam a vulnerabilidade social das comunidades ribeirinhas. Com foco específico nos bairros São Pedro e Universitário. Além disso, o estudo visa entender as percepções dos moradores sobre os riscos ambientais e a eficácia das respostas governamentais, com intuito de identificar as principais barreiras e facilitadores para a construção de uma resiliência comunitária.

METODOLOGIA

Para entender os impactos e as dinâmicas dos desastres ambientais no Brasil, optamos por uma abordagem qualitativa que nos permitisse mergulhar nas experiências vividas pelas comunidades ribeirinhas e afetadas da cidade de governador Valadares especificamente nos bairros São Pedro e Universitário. Essa metodologia foi desenvolvida não apenas para analisar dados, mas também para ouvir as vozes dessas comunidades, compreender suas percepções e valorizar suas histórias.

Iniciamos o processo com uma revisão bibliográfica e teórica, que foi além da leitura de textos acadêmicos padrão buscamos reportagens de veículos de comunicação popular. Nesta fase, nos conectamos com os pensamentos de teóricos como Ulrich Beck e Julia Guivant, cujas ideias sobre a sociedade de risco e a percepção pública

dos perigos ambientais oferecem uma lente poderosa para entender os desafios enfrentados por essas comunidades. Essa etapa foi um momento de reflexão e aprendizado, onde integramos conhecimentos que ajudaram a construir um quadro mais completo e sensível da realidade estudada.

A análise documental foi o próximo passo, e abordamos essa tarefa não apenas como um exercício técnico, mas como uma oportunidade de compreender o contexto em que esses desastres ocorreram. Examinamos documentos oficiais, relatórios governamentais, legislações e notícias da mídia, buscando entender como as autoridades responderam a essas crises e quais foram os efeitos reais na vida das pessoas. Esse exame nos permitiu mapear as falhas e acertos nas respostas institucionais, oferecendo uma base sólida para a reflexão crítica.

Os estudos de caso realizados foram uma parte essencial dessa metodologia. Cada desastre recente, seja no Rio Grande do Sul, em Mariana ou Brumadinho, foi tratado com a devida atenção aos detalhes que compõem sua história. Não se tratou apenas de listar eventos, mas de narrar como essas tragédias se desdobraram, quais foram as reações das comunidades e como as teorias de Beck e Guivant nos ajudaram a entender esses processos. Esses estudos de caso nos permitiram ver os desastres não como fatos isolados, mas como partes de um todo maior, interconectado por questões de governança, risco e resiliência (GUIVANT, 2016).

Uma das etapas mais humanizadoras deste estudo foi a realização de entrevistas semiestruturadas. Conversamos com moradores que vivem às margens do rio Doce, em Governador Valadares, nos bairros Universitário e São Pedro, que sofrem com cheias recorrentes e danos devido a alagamentos e enchentes. Essas entrevistas não tiveram o objetivo apenas de coletar informações, mas de criar um espaço de escuta, onde pudemos entender, pelas palavras daqueles que viveram essas experiências, como percebem os riscos, quais são suas expectativas em relação às instituições e como têm lidado com as adversidades. As entrevistas foram um encontro de histórias e perspectivas que enriqueceram nossa compreensão e nos conectaram mais intimamente com as realidades estudadas.

Após a coleta desses dados, utilizamos a análise de conteúdo como uma forma de dar voz aos temas e padrões que emergiram das entrevistas e dos documentos. Esse processo foi além categorização; ele nos permitiu interpretar as narrativas e identificar os sentimentos, medos e esperanças das comunidades afetadas. A análise de conteúdo foi, portanto, uma etapa crucial que nos ajudou a organizar e dar sentido a todas as informações coletadas, criando uma base sólida para nossas discussões.

Para garantir que nossas conclusões fossem bem fundamentadas, aplicamos a triangulação dos dados. Comparando as informações obtidas nas entrevistas, documentos e estudos de caso com as teorias de Beck e Guivant, buscamos construir uma análise que fosse não apenas crítica, mas também coerente e abrangente e de fácil compreensão. Essa triangulação nos permitiu verificar a consistência dos dados e integrar diferentes perspectivas, oferecendo uma visão mais completa e confiável dos fenômenos estudados (GUIVANT, 2016).

Por fim, a discussão crítica dos resultados nos permitiu refletir sobre as implicações de nossas descobertas. Esta não foi apenas uma análise teórica, mas uma oportunidade de pensar em como as práticas de governança de riscos podem ser aprimoradas, de modo a proteger melhor as comunidades vulneráveis e prevenir futuros desastres. Nesta fase, ligamos a teoria à prática, propondo caminhos que possam fazer a

diferença dessas comunidades.

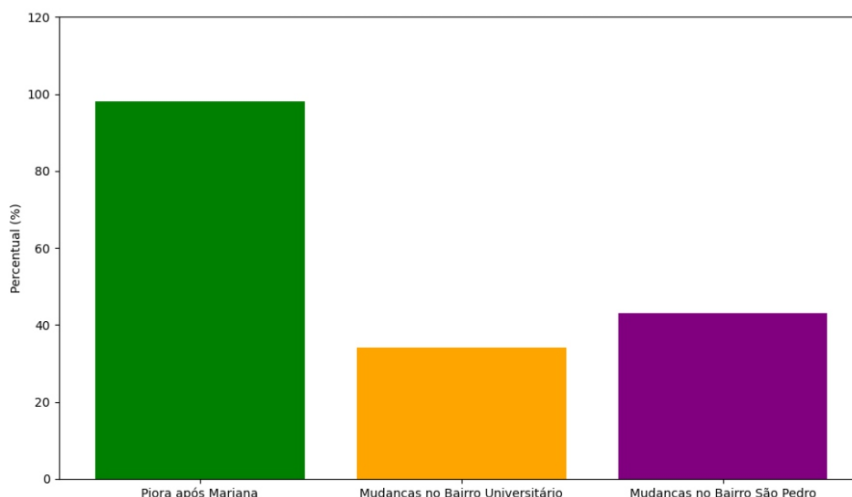
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo revelou uma série de percepções e experiências dos moradores em Governador Valadares em relação às enchentes recorrentes e às respostas governamentais. A análise das entrevistas semiestruturadas com 134 residentes dos bairros Universitário e São Pedro forneceu insights valiosos sobre a resiliência comunitária e a confiança nas políticas públicas.

A maioria dos entrevistados (97%) expressou insatisfação com as respostas governamentais às enchentes. Os moradores relataram uma falta de ações efetivas por parte das autoridades, sentindo-se frequentemente abandonados durante e após os eventos de enchente. Tal desconfiança, reflete na percepção predominante de inadequação e descoordenação das medidas governamentais (FREITAS, 2019).

Quase todos os entrevistados (98%) observaram uma piora significativa nas condições ambientais e um aumento na frequência e severidade das enchentes desde o desastre de Mariana. Muitos relataram que áreas que anteriormente não eram afetadas pelas enchentes agora são regularmente inundadas, o que é representado na figura 01. Este impacto ampliado é atribuído à alteração das dinâmicas hidrológicas do rio Doce após a liberação de rejeitos de mineração.

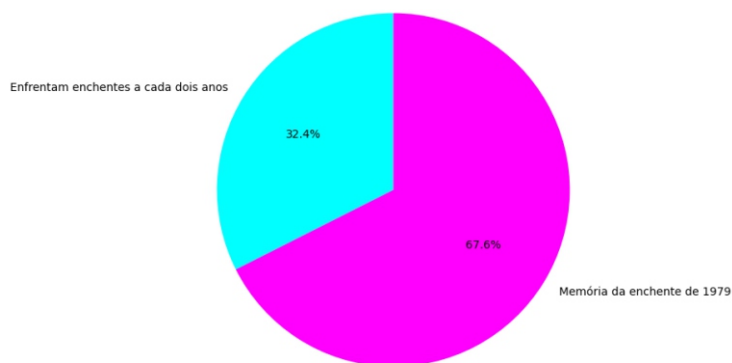
Figura 01: Impacto do rompimento da barragem em Mariana.



Os dados de frequência de enchentes revelam uma realidade alarmante: 48% dos moradores afirmam enfrentar enchentes a cada dois anos. Além disso, todos os 48% que mencionaram a frequência bianual das enchentes recordaram a enchente de 1979 como a mais severa, tanto por experiência vivida quanto por relatos de familiares mais velhos, conforme ilustrado na figura 02.

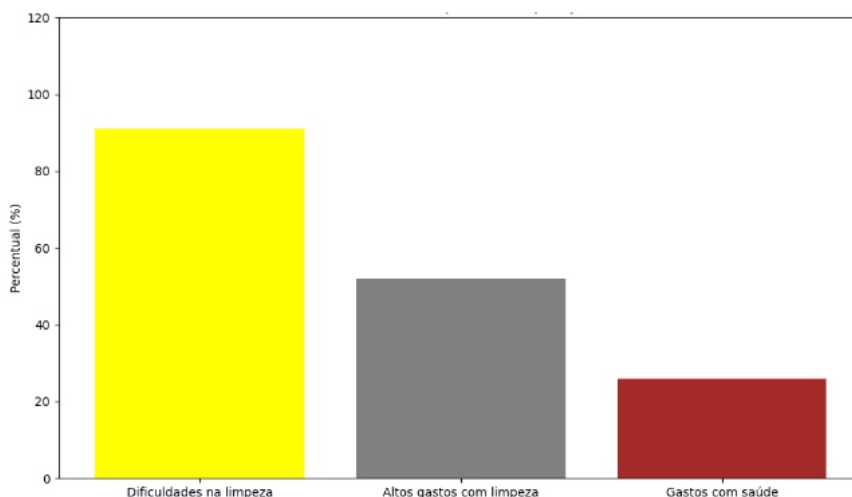
A contaminação por rejeitos de mineração complicou significativamente os esforços de limpeza e recuperação pós-enchente. 91% dos entrevistados enfrentaram dificuldades na remoção de lama tóxica e detritos.

Figura 02: Percepção de frequência de enchentes e memória histórica.



Além disso, 52% relataram altos gastos financeiros com limpeza pesada, e 26% mencionaram problemas de saúde decorrentes da exposição aos rejeitos, incluindo a necessidade de medicamentos e intervenções médicas, conforme mostrado na figura 03.

Figura 03: Desafios na limpeza e recuperação.



A maioria dos entrevistados (81%) desconhecia o conceito de resiliência urbana. Mesmo após a explicação do conceito, 100% expressaram descrença na capacidade de transformação de Valadares em um território resiliente. Essa falta de confiança na resiliência urbana e nas estratégias de mitigação reflete um ceticismo generalizado sobre a eficácia das políticas públicas em promover a resiliência.

Apesar das falhas institucionais, a solidariedade comunitária emergiu como um forte pilar de resiliência. Todos os entrevistados expressaram satisfação em ajudar seus vizinhos durante crises, incluindo a mudança de móveis, resgate de materiais e animais, e limpeza e remoção de entulhos. Este espírito de cooperação comunitária contrasta com a percepção negativa das respostas governamentais e destaca a importância do apoio mútuo em tempos de crise.

A comunicação de risco em Governador Valadares é complicada pela presença de múltiplas fontes de informação, frequentemente conflitantes, como as medições da

cota de inundação, do SAAE e da CPRM, que divergem devido às suas localizações em diferentes cotas. Isso gera confusão e descrença nas informações fornecidas, exacerbada pela disseminação de fake news. 57% dos entrevistados relataram sentir-se confusos com tantas notícias divergentes sobre a mesma enchente. Exemplos de frases dos entrevistados incluem: "Uma única enchente sempre tem diversos números e informações com resultados diferentes e são reforçadas com fotos reais, mas essas fotos muitas vezes são de locais reais, mas de enchentes de outros anos"; "Difícil de acreditar, nunca temos consenso entre quem deveria informar".

Embora a solidariedade seja uma característica marcante, 13% dos entrevistados relataram abusos durante as enchentes, como preços inflacionados de água mineral, caminhões-pipa, aluguel e mão de obra. Esse oportunismo em tempos de crise aumenta o sofrimento das comunidades afetadas e agrava a percepção negativa das respostas institucionais. Esses achados sublinham a complexidade das dinâmicas entre a resiliência comunitária e a eficácia das políticas públicas em Governador Valadares. As percepções dos moradores revelam uma necessidade urgente de reformas políticas e de uma comunicação de risco mais clara e coordenada para melhorar a resposta a desastres e promover a resiliência comunitária ((DELBONO, 2022).

Zhourri destaca que os desastres amplificam vulnerabilidades preexistentes, expondo falhas críticas na infraestrutura e planejamento urbano (ZHOURRI, 2018). Este estudo reforça essa visão, mostrando que áreas previamente não afetadas agora enfrentam enchentes regulares, um fenômeno que os residentes atribuem à mudança nas dinâmicas hidrológicas do rio Doce. A contaminação por rejeitos de mineração complicou significativamente os esforços de recuperação, com 91% dos entrevistados relatando dificuldades na limpeza e remoção de lama tóxica. Este impacto direto na saúde e bem-estar da população é um aspecto crítico que necessita de atenção. Santana (2019) enfatiza que a percepção de eficácia na gestão de desastres influencia diretamente a confiança nas autoridades. A ineficiência na limpeza e recuperação não só prolonga o sofrimento físico e psicológico, mas também erode a confiança nas promessas de um futuro seguro (MILANEZ & ZHOURRI, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crise desencadeada pelo desastre em Mariana-MG revelou falhas sistêmicas na gestão de riscos e na comunicação de desastres em Governador Valadares. As reformas necessárias vão além da resposta imediata aos desastres, exigindo uma transformação nas abordagens de governança e na participação comunitária. A visão de pesquisadores como Milanez, Zhourri, Santana e Guivant oferecem uma base sólida para desenvolver políticas mais inclusivas e eficientes, capazes de promover uma resiliência genuína e sustentável. Somente através de uma abordagem integrada e centrada na comunidade será possível enfrentar os desafios futuros e garantir a segurança e o bem-estar das populações vulneráveis ao longo do rio Doce, a análise dos dados indica a necessidade de uma transformação nas abordagens de governança e na participação comunitária e políticas públicas mais inclusivas e eficazes, que integrem as vozes e experiências das comunidades afetadas, são fundamentais para promover uma resiliência urbana genuína e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Vale do Rio Doce pelo suporte e aos entrevistados por sua participação.

REFERÊNCIAS

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. Parlamentares verificam danos da mineração à Serra da Moeda. Assembleia Legislativa de Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/comunicacao/noticias/arquivos/Parlamentares-verificam-danos-da-mineracao-a-Serra-da-Moeda/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

BECK, Ulrich. Sociedade de Risco: Rumo a uma outra modernidade. 1. ed. São Paulo: Editora 34, 2011.

BRASIL DE FATO. Tragédia no Rio Grande do Sul: é preciso apontar as causas e responsáveis. 2024. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/05/23/tragedia-no-rio-grande-do-sul-e-preciso-apontar-as-causas-e-responsaveis>. Acesso em: 28 ago. 2024.

BESERRA, Daisy; CUNICO, Camila; DE OLIVEIRA MOURA, Marcelo. ÍNDICE DE RISCO DE DESASTRE CLIMÁTICO PARA O ESTADO DA PARAÍBA-BRASIL. OKARA: Geografia em Debate, v. 17, n. 1, 2023.

CUNICO, Camila; LUCENA, Daisy Beserra; DE OLIVEIRA MOURA, Marcelo. VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E RISCO DE DESASTRE POR INUNDAÇÕES NO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL: SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY AND DISASTER RISK BY FLOODING IN PARAÍBA STATE, BRAZIL. Boletim Goiano de Geografia, v. 42, n. 01, 2022.

DE FÁTIMA DELBONO, Benedita. Gestão, Sustentabilidade e Ambiente: breves considerações sobre a gestão dos efeitos dos desastres industriais de Mariana e Brumadinho. Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável, v. 1, n. 2, 2022.

FREITAS, C. M. D.; HELLER, L.; PROFETA, Z. M. D. L. Desastres em barragens de mineração: lições do passado para reduzir riscos atuais e futuros. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 28, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/vDNJLr9m6Jhg3pp9VzLXpTt/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

GUIVANT, Julia. Percepção de risco e governança ambiental: Uma análise das interações sociais e institucionais. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2016.

MILANEZ, Bruno. A inação das instituições e a sensação de abandono em Governador Valadares após Mariana. Revista Brasileira de Gestão e Políticas Públicas, v. 3, n. 1, 2024.

MILANEZ, B.; ZHOURI, A. Desastres socioambientais e gestão de riscos no Brasil. Belo Horizonte: Editora ABC, 2017.

NEXO JORNAL. Uma década de emergência ambiental no Rio Grande do Sul. Nexo Jornal, 08 maio 2024. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/externo/2024/05/08/uma-decada-de-emergencia-ambiental-no-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 23 ago. 2024.

OLÍMPIO, João Luís Sampaio; CUNICO, Camila; LUCENA, Daisy Beserra. Vulnerabilidade aos desastres ambientais no Estado da Paraíba. Geo UERJ, n. 44, 2024.

PIGA, Talita. Crise ambiental e sociedade de risco: um estudo sobre Mariana e Brumadinho na perspectiva de Ulrich Beck. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Talita-Piga/publication/364322789_CRISE_AMBIENTAL_E_SOCIEDADE_DE_RISCO_UM_ESTUDO_SOBRE_MARIANA_E_BRUMAD. Acesso em: 28 ago. 2024.

ROQUE, Mariane Paulina Batalha. Vulnerabilidade social e a capacidade de resiliência em áreas suscetíveis e afetadas por desastres ambientais na Bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, Minas Gerais, Brasil. 2022.

SANTANA, H. Percepção de risco e comunicação em desastres ambientais: um estudo de caso em Barão de Cocais. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Acesso em agosto de 2024.

EFICIÊNCIA DE SISTEMA REATOR UASB SEGUIDO POR LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE EMBALAGENS

Análise de tecnologias e inovações voltadas para a preservação do meio ambiente

Karina de Fátima da Silva

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
karinasilfat6@gmail.com.

Kátia Daniele do Nascimento

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
katiadaniele@gmail.com.

João Pedro Rosa Morais

Aluno do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
joapedrorosam@gmail.com.

Cíntia Corrêa Araújo

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
cintiaaraujocorrea@gmail.com.

Nicolý Kethely N. Daniel Correia Coelho

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
kethely.nicolý@gmail.com.

Luciano dos Santos Rodrigues

Professor de Controle Ambiental e Saneamento,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
lsantosrodrigues@gmail.com.

Resumo

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de um sistema de tratamento de efluentes da indústria de embalagens, utilizando um reator Anaeróbio com Fluxo Ascendente (UASB) seguido de lodos ativados. A estação de tratamento foi projetada para atender a uma vazão diária correspondente aos efluentes gerados pela produção industrial. Foram analisados parâmetros como pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST). Os resultados mostraram que os efluentes médios de pH, DBO, DQO e SST no efluente final foram de 7,3, 60 mg/L, 180 mg/L e 80 mg/L, respectivamente. O sistema demonstrou alta eficiência, com remoção média de 84% para DBO e 74% para DQO. Essa eficiência evidencia que a integração do reator UASB com lodos ativados permite uma abordagem mais completa, reduzindo a carga orgânica inicialmente e removendo poluentes remanescentes na etapa aeróbia. Assim, o sistema de tratamento, composto por reator UASB seguido de lodos ativados, mostrou-se eficiente atendendo aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental.

Palavras-chave: Saneamento; Meio Ambiente; Sustentabilidade Ambiental.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes industriais é um componente crucial da gestão ambiental, especialmente em setores com grandes volumes de águas residuais, como a indústria de embalagens. Esta indústria é desafiada pelo tratamento de efluentes que possuem alta carga orgânica e a presença de substâncias específicas, exigindo tecnologias de tratamento eficazes para mitigar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade.

Entre as tecnologias disponíveis, o Sistema de Reatores Anaeróbios com Fluxo Ascendente (UASB), desenvolvido por Lettinga e Hulshoff Pol (1991), é notável por sua eficiência no tratamento de efluentes com alta carga orgânica. O reator UASB utiliza um processo anaeróbio de fluxo ascendente para degradar a matéria orgânica, resultando em uma significativa redução de lodo e na produção de biogás, uma fonte renovável de energia. A capacidade do UASB de remover a matéria orgânica de forma eficaz torna-o uma opção atrativa para efluentes industriais, incluindo os da indústria de embalagens (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991).

No entanto, o uso isolado do UASB pode não ser suficiente para alcançar os padrões de qualidade exigidos para efluentes finais, especialmente em indústrias como a de embalagens, onde os efluentes podem conter compostos complexos e recalitrantes. A integração do UASB com um sistema de lodos ativados aborda essas limitações, combinando as vantagens de ambos os processos para oferecer uma solução de tratamento mais completa. A etapa anaeróbia inicial no UASB reduz a carga orgânica e o volume de lodo, enquanto a etapa aeróbia dos lodos ativados garante a remoção eficiente dos poluentes restantes e a estabilidade do efluente tratado (Angelidaki & Ellegaard, 2003).

A combinação dos sistemas UASB e lodos ativados também se destaca pela sua capacidade de aproveitamento energético. O biogás produzido no reator UASB pode ser utilizado como uma fonte renovável de energia, contribuindo para a economia do processo. Este biogás pode ser utilizado para gerar eletricidade ou calor, o que não só reduz os custos operacionais da planta, mas também minimiza a dependência de fontes externas de energia.

A aplicação de lodos ativados na etapa final do tratamento permite que a eficiência na remoção de poluentes seja maximizada, o que é essencial para atender aos regulamentos ambientais e garantir a qualidade do efluente final antes do descarte ou reutilização (Chernicharo et al., 2018).

Além dos benefícios ambientais e econômicos, a combinação de UASB e lodos ativados pode oferecer vantagens operacionais significativas. Os reatores UASB são conhecidos por sua alta eficiência na redução da carga orgânica e baixa produção de lodo, enquanto os lodos ativados proporcionam um controle preciso da qualidade da água tratada. Essa integração permite que o sistema como um todo se adapte melhor a variações na composição do efluente e flutuações na carga de poluentes. A combinação dessas tecnologias pode ser particularmente eficaz no tratamento de efluentes complexos e na remoção de nutrientes, atendendo a uma ampla gama de requisitos operacionais e regulatórios. Dessa forma, a adoção de um sistema combinado não só melhora o desempenho do tratamento, mas também contribui para a gestão sustentável dos recursos e proteção ambiental na indústria de embalagens.

Neste cenário, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência do sistema reator UASB seguido por lodos ativados no tratamento de efluentes da indústria de embalagens. A pesquisa buscará comparar a eficácia dos processos combinados em termos de remoção de poluentes e qualidade do efluente tratado, além de identificar as melhores práticas para a implementação dessa abordagem integrada. O estudo visa fornecer uma análise detalhada das vantagens e limitações do sistema combinado, contribuindo para a adoção de práticas mais sustentáveis e eficazes no tratamento de efluentes industriais.

METODOLOGIA

Local de pesquisa

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria de produção de embalagens plásticas com capacidade instalada de 14 toneladas por dia localizada no estado de Minas Gerais. A estação de tratamento de efluentes (ETE) foi dimensionada para atender a demanda de efluentes gerados pela a indústria e pelo esgoto sanitário gerado pelos colaboradores.

A ETE é composta de grade média, calha parshall, estação elevatória, reator anaeróbio UASB sistema de lodos ativados. Todos os efluentes gerados na indústria e os sanitários são encaminhados para uma estação elevatória e posteriormente para a ETE.

A tabela 1 apresentam um resumo das principais características de projeto do reator UASB e Lodos Ativados estabelecidas no estudo de concepção da ETE.

Tabela 1. Principais características de Projeto dos reatores UASB e Filtro anaeróbio

Características de Projeto	Reator UASB	Lodos Ativados
Vazão	4,5 m ³ /d	4,5 m ³ /d
Volume	10 m ³	10 m ³
Tempo de Detenção Hidráulica	2,2 dias	2,2 dias
Carga Orgânica Volumétrica	0,30 kgDQO/m ³ .dia	0,12 kgDQO/m ³ .dia
Carga Hidráulica Volumétrica	0,45 m ³ /m ³ .dia	0,45 m ³ /m ³ .dia
Velocidade Ascensional	0,10 m/h	-

Monitoramento

O programa de monitoramento foi realizado mensalmente por meio de análises físico-químicas. Os principais parâmetros avaliados foram: temperatura, pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) sólidos suspensos (SS), sólidos sedimentáveis (Ssed), óleos e graxas e surfactantes aniônicos.

As amostras coletadas foram acondicionadas e transportadas, de maneira a manter suas características até o laboratório, sendo realizadas no Laboratório de Saneamento do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva da UFMG.

O pH foi determinado de acordo com APHA, AWWA, WEF (2012). A DQO total e foi determinada submetendo-se as mesmas ao método colorimétrico e digestão com refluxo fechado em tubos de cultura segundo APHA, AWWA, WPCF (2012).

Para determinação dos sólidos suspensos totais, seguiu-se a metodologia descrita por APHA, AWWA, WPCF (2012), com a filtragem da amostra em papel de filtro Gf/C 47 já previamente preparados, lavados, secos em estufa por 24h, esfriados em dessecador e pesados, tendo o peso 1. Cada papel de filtro foi pesado, identificado e colocado em cadinhos de porcelana.

Para preparo das amostras, foram filtrados 10ml de cada ponto, colocadas nos devidos cadinhos e levados para estufa até a completa secagem. Então os papéis de filtro após secos foram retirados, esfriados em dessecador e pesados novamente, obtendo-se o peso 2. Por último, os papéis de filtro foram levados para a mufla à 600°C (± 30 minutos), resfriados em dessecador e mais um vez pesados, tendo o peso 3.

Análise estatística

Foi realizada análise estatística dos valores obtidos por meio de média, desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximo e mínimo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme indicado na tabela 1, os valores de pH não apresentaram variações significativas no esgoto bruto e tratado, mantendo-se dentro da faixa de neutralidade. As análises revelaram uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 381 mg/L e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 660 mg/L no esgoto bruto, valores estes característicos de esgoto sanitário (von sperling,), o que aponta para uma carga orgânica aplicada baixa. Após o tratamento, a DBO foi reduzida para 60 mg/L, e a DQO 180 mg/L, atendendo o padrão de lançamento da Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 08/2022.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros Surf., DBO, DQO, OGM, OGVA, Ssed e SST do efluente bruto e tratado no período experimental.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Esgoto Tratado	Parâmetros
pH	7,3 \pm 0,5	7,3 \pm 0,5	Entre 5 - 9
DBO	381 \pm 122	60 \pm 19	Inferior a 60
DQO	660 \pm 202	180 \pm 37	Inferior a 180
SST	337 \pm 187	80 \pm 40	Inferior a 100
Ssed	11,6 \pm 7,2	0,10 \pm 0,00	Inferior a 1
OGM	14 \pm 4	6 \pm 1	Inferior a 20
OGVA	54 \pm 19	12 \pm 6	Inferior a 50
Surf.	3,1 \pm 2,4	0,9 \pm 0,8	Inferior a 2
EF DBO	-	84,0 \pm 9,8	Mínimo 85
EF DQO	-	74,0 \pm 16,9	Mínimo 80

Observa-se também que todos os outros parâmetros atenderam também o padrão de lançamento da Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 08/2022.

Nas Figuras 1 e 2 são mostradas as variações dos parâmetros EF DBO e EF DQO do efluente tratado durante o período experimental.

Gráfico 1. Variações da Eficiência de Remoção de DBO no Sistema reator UASB seguido por lodos ativados durante o período experimental.

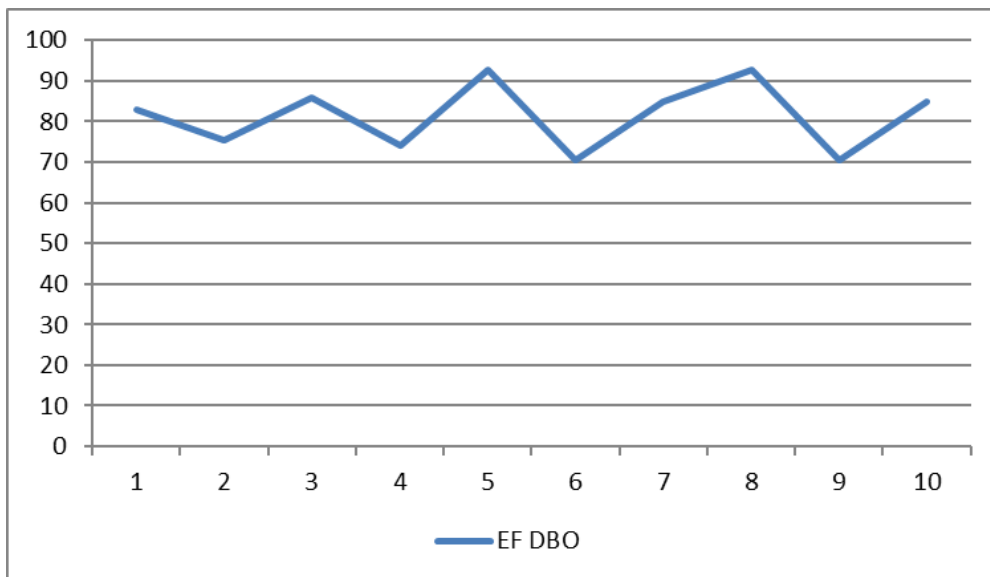
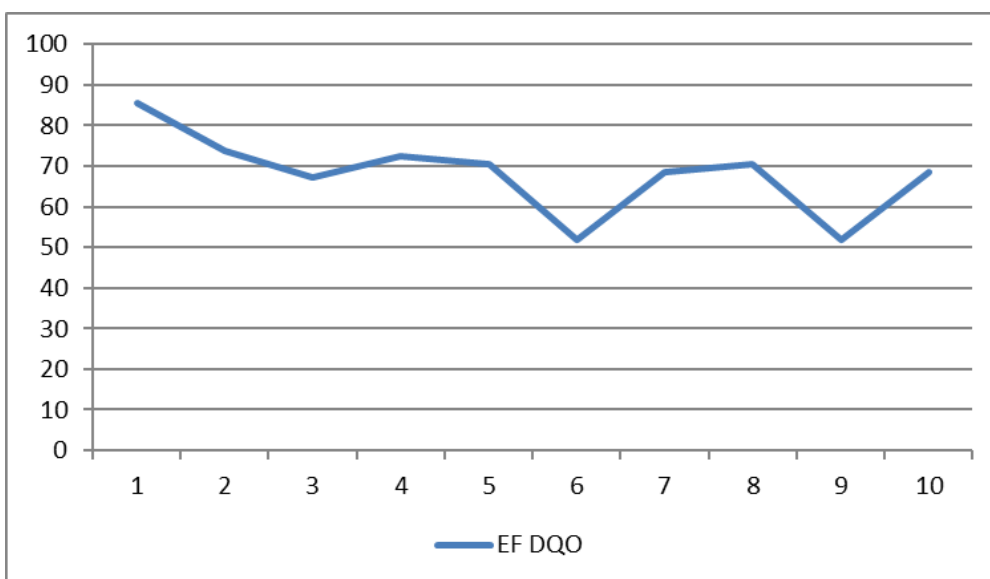


Gráfico 2. Variações da Eficiência de Remoção de DQO no Sistema reator UASB seguido por lodos ativados durante o período experimental.



Além disso, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentou um valor de 660 ± 202 mg/L na entrada e caiu para 198 ± 50 mg/L após o tratamento, resultando em uma redução de cerca de 70%.

Essa diminuição confirma a eficiência do sistema em remover substâncias que consomem oxigênio.

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) foram medidos em 337 ± 187 mg/L na entrada, enquanto na saída esse valor foi reduzido para 102 ± 58 mg/L, representando uma diminuição de aproximadamente 70%.

Observou-se que o pH da água de entrada foi registrado em $7,3 \pm 0,5$, mantendo-se constante após o tratamento. Essa estabilidade é positiva, pois indica que o tratamento não afetou a neutralidade da água, essencial para a vida aquática.

Os parâmetros relacionados a óleos e gorduras também mostraram melhorias. A presença de Óleos e Gorduras Materiais (OGM) foi de 14 ± 4 mg/L na entrada e foi reduzida para 6 ± 1 mg/L na saída, resultando em uma diminuição de cerca de 57%. A concentração de Óleos e Graxas Voláteis (OGVA) também foi reduzida de 54 ± 19 mg/L para 12 ± 6 mg/L, uma diminuição de aproximadamente 78%, o que demonstra um tratamento eficaz na remoção desses contaminantes.

A análise dos sedimentos revelou um valor de $11,6 \pm 7,2$ mg/L na entrada, que foi praticamente eliminado, com a saída apresentando apenas $0,10 \pm 0,00$ mg/L. Essa remoção quase total dos sedimentos demonstra a eficácia do tratamento na eliminação de partículas sólidas.

Os índices de eficiência para DBO e DQO foram de $81,4 \pm 8,4\%$ e $68,1 \pm 10\%$, respectivamente, reforçando a conclusão de que o sistema de tratamento está operando de forma eficiente.

A comparação entre os dados de entrada e saída são fundamentais para avaliar a eficácia do tratamentos. Esses resultados destacam a importância do sistema reator UASB seguido por lodos ativados no tratamento de efluentes, garantindo que a água tratada atenda aos padrões necessários para a proteção dos recursos hídricos. (RODRIGUES LS., et. al.,2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação do reator UASB com lodos ativados se mostrou eficiente no tratamento de efluentes da indústria de embalagens, alcançando altos índices de remoção de DBO e DQO. O sistema atendeu aos padrões legais exigidos, demonstrando sua eficácia na mitigação de impactos ambientais. Além disso, a produção de biogás pode contribuir para a sustentabilidade, servindo como uma fonte renovável de energia. Essa abordagem integrada não apenas melhora a qualidade do efluente tratado, mas também destaca a importância de práticas sustentáveis na gestão dos recursos hídricos. Portanto, essa estratégia representa uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes industriais.

REFERÊNCIAS

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 20 ed. Washington, D. C. 1998.

ANGELIDAKI, I.; ELLEGAARD, L. Application of the UASB reactor in the treatment of industrial and municipal wastewater. *Water Research*, v. 37, n. 16, p. 4121-4130, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L.; RIBEIRO, D. F.; FERRAZ, A. G. Reatores UASB no Brasil: evolução tecnológica e perspectivas. *Revista DAE*, v. 214, p. 25-36, 2018.

DROSTE, R. L. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons, 1997.

LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L. W. UASB-process for treatment of industrial wastewater: design considerations and operational aspects. *Water Science and Technology*, v. 24, n. 8, p. 21-31, 1991.

RODRIGUES LS, SILVA IJ, SANTOS RLH, GOULART DB, OLIVEIRA PR, VON SPERLING M, FONTES DO (2009) Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós- tratamento de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 61:142—1433.

EMPREGO DE REATORES ANAERÓBIOS DE ALTA TAXA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO ABATE DE FRANGOS

Análise de tecnologias e inovações voltadas para a preservação do meio ambiente

Laura Menezes de Souza Penido

Aluna do Curso de graduação em Química,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
lauramenezesouza@gmail.com.

Giovanna Salustiano Scarabelli

Aluna do Curso de graduação em Medicina
Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
gioscarabelli@hotmail.com.

Nicolý Kethely N. Daniel Correia Coelho

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
kethely.nicolý@gmail.com .

Ariane Mística Rodrigues

Bióloga, Fazenda São Paulo,
arianemisticarodrigues@gmail.com.

João Pedro Rosa Morais

Aluno do Curso de graduação em Aquacultura,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
joaopedrorosam@gmail.com.

Luciano dos Santos Rodrigues

Professor de Controle Ambiental e Saneamento,
Universidade Federal de Minas Gerais,
departamento de Medicina Veterinária Preventiva,
lsantosrodrigues@gmail.com.

Resumo

A avicultura desempenha um papel indispensável na economia brasileira, sendo uma das principais atividades agropecuárias do país e um dos setores mais dinâmicos do agronegócio. O Brasil foi o segundo maior produtor de carne de frango e primeiro em exportação no ano de 2022. Já em 2023, as exportações de carne de frango do Brasil, que concentra cerca de 30% do mercado global, encerraram o ano com recordes de 5,138 milhões de toneladas, alta de 6,6% em relação a 2022, sinalizando tendência positiva para 2024, Essa tendência positiva, apesar de favorecer a economia nacional, traz consigo novos desafios no que diz respeito ao tratamento de águas residuárias, visto que esse processo gera grandes volumes com altas concentrações de matérias orgânicas, sólidos e nutrientes. O emprego de reatores anaeróbios de alta taxa torna-se uma solução efetiva à problemática, partindo do ponto em que suportam altas cargas orgânicas e sobrecargas hidráulicas, e são eficientes na remoção de até 99% da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), auxiliando na redução de carga orgânica e sólidos nos efluentes, minimizando, assim, a poluição hídrica e o impacto ambiental, além de gerar biogás, uma fonte de energia renovável, contribuindo para com a economia de custos operacionais das indústrias de frango.

Palavras-chave: Agroindústria; digestão anaeróbia, Meio ambiente; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O crescente consumo e desempenho no cenário econômico de produtos oriundos da avicultura, como carne e os ovos pelos brasileiros resultou na necessidade de maior produção nesta área. Este aumento de produção ocasiona diversas problemáticas, dentre eles, podemos citar o significativo aumento na geração de efluentes, elevada carga poluidora das águas residuais,

inviabilização da reutilização da água etc. De acordo com pesquisas realizadas pelo repositório UFMG, a carga orgânica aplicada em um reator pode atingir até 0,71 kg DQO/m³/dia, enquanto os efluentes não tratados podem conter níveis de DBO de até 106 mg/L e DQO de 290 mg/L. Essa produção de águas residuárias não tratadas provenientes do abate de frangos gera graves consequências ambientais, dentre as quais podemos citar:

- Contaminação dos corpos hídricos pelos altos níveis de matéria orgânica e produtos químicos que são utilizados na etapa de limpeza. Esses processos aumentam a demanda de oxigênio nos corpos d'água, o que gera um impacto denominado eutrofização, resultando na inviabilização da água para atividades como uso humano e agrícola (EMBRAPA, 2024);
- Emissão de odores desagradáveis e diversos gases nocivos, como metano e amônia, dada pela decomposição inadequada da matéria orgânica nos efluentes. Esse transtorno tem um impacto direto na população, uma vez que pode causar problemas de saúde nas comunidades próximas e contribuir para o efeito estufa (EMBRAPA, 2024);

Além desses, devemos considerar, juntamente, os impactos sobre a biodiversidade, especialmente ecossistemas aquáticos. Devido a emissão de gases nocivos citados anteriormente, temos, como efeito resultante, o aumento da temperatura e a diminuição do oxigênio dissolvido nas águas contaminadas podem levar à morte de diversas espécies marinhas, perturbando a cadeia alimentar e reduzindo a biodiversidade (EMBRAPA, 2024).

Em meio a todas essas contrariedades, reatores anaeróbios de alta taxa surgem como uma solução viável a fim de mitigar os danos causados. Dentre as vantagens ofertadas por este, podemos citar sua alta eficiência de remoção de poluentes que alcançam índices de remoção de poluentes notáveis. De acordo com o Rodrigues (2009), temos uma remoção de 83% a 99% no que diz respeito a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), uma remoção de 50% a 98% na Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Eficiência de até 92% nos Sólidos Suspensos Totais (SST), além da produção de biogás, podendo ser usado para a produção de energia e custos operacionais consideravelmente reduzidos.

Portanto, objetiva-se, com o esse trabalho, que o emprego de reatores anaeróbios de alta taxa no tratamento de águas residuárias do abate de frangos tornou-se essencial devido aos impactos ambientais significativos causados pelos efluentes gerados nesta indústria por questões de sustentabilidade, ética ambiental e populacional.

METODOLOGIA

Local de pesquisa

O trabalho foi desenvolvido em um abatedouro localizado na zona da mata do estado de Minas Gerais.

O abatedouro possui uma capacidade de abate de 2500 aves/dia. A estação de tratamento de efluentes (ETE) foi dimensionada para atender a um consumo de água na planta de 12 litros por ave. Sendo assim, a vazão teórica afluyente ao sistema projetada foi 30 m³/dia.

A ETE industrial foi composta de peneira estática, seguida por duas caixas gradeadoras sendo uma média e outra fina, caixa de gordura, distribuidor de vazão, três reatores UASB de 15 m³ cada ligados em série e três filtros anaeróbios de 15 m³ cada também ligados em série.

Todos os efluentes gerados no abate de frangos eram encaminhados por gravidade para a ETE. Na foto 1 e 2 seguem as unidades integrantes da ETE.

Foto 1 – Tratamento Primário composto por peneira estática (foto a) e caixa gradeadora (Foto b).



Foto 2 – Tratamento Secundário composto por Reatores UASB seguidos de Filtro Anaeróbio.



A tabela 1 apresentam um resumo das principais características de projeto dos reatores UASB e FA estabelecidas no estudo de concepção da ETE.

Tabela 1. Principais características de Projeto dos reatores UASB e Filtro anaeróbio

Características de Projeto	Reator UASB	Filtro Anaeróbio
Tempo de Detenção Hidráulica	1,5 dias	1,5 dias
Carga Orgânica Volumétrica	1,30 kgDQO/m ³ .dia	0,50 kgDQO/m ³ .dia
Carga Hidráulica Volumétrica	0,66 m ³ /m ³ .dia	0,66 m ³ /m ³ .dia
Velocidade Ascensional	0,70 m/h	0,70 m/h

Monitoramento

O programa de monitoramento foi realizado mensalmente por meio de análises físico-químicas. Os principais parâmetros avaliados foram: temperatura, pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) sólidos suspensos (SS), óleos e graxas e surfactantes aniônicos.

As amostras coletadas foram acondicionadas e transportadas, de maneira a manter suas características até o laboratório, sendo realizadas no Laboratório de Saneamento do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva da UFMG.

O pH foi determinado de acordo com APHA, AWWA, WEF (2012). A DQO total e foi determinada submetendo-se as mesmas ao método colorimétrico e digestão com refluxo fechado em tubos de cultura segundo APHA, AWWA, WPCF (2012).

Para determinação dos sólidos suspensos totais, seguiu-se a metodologia descrita por APHA, AWWA, WPCF (2012), com a filtragem da amostra em papel de filtro Gf/C 47 já previamente preparados, lavados, secos em estufa por 24h, esfriados em dessecador e pesados, tendo o peso 1. Cada papel de filtro foi pesado, identificado e colocado em cadinhos de porcelana.

Para preparo das amostras, foram filtrados 10ml de cada ponto, colocadas nos devidos cadinhos e levados para estufa até a completa secagem. Então os papéis de filtro após secos foram retirados, esfriados em dessecador e pesados novamente, obtendo-se o peso 2. Por último, os papéis de filtro foram levados para a mufla à 600°C (± 30 minutos), resfriados em dessecador e mais um vez pesados, tendo o peso 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os valores médios e o desvio padrão dos parâmetros avaliados durante o período experimental do sistema de tratamento durante o período experimental.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros pH, DBO, DQO, SST, sólidos sedimentáveis, surfactantes e óleos e graxas do esgoto bruto e tratado durante o período experimental

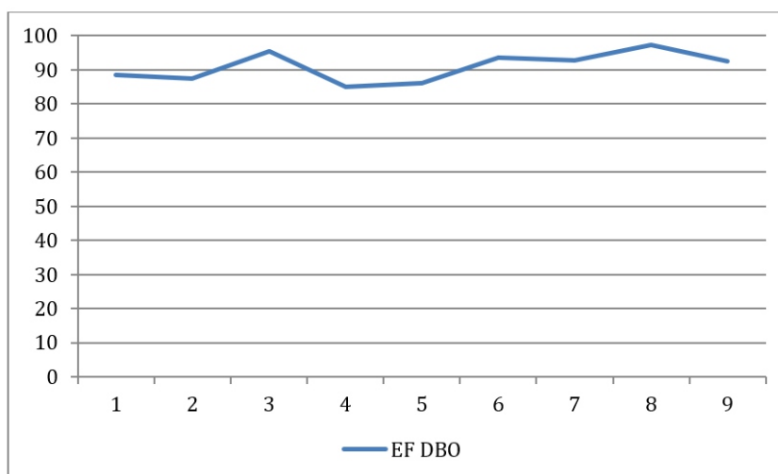
Parâmetro	Esgoto Bruto	Esgoto Tratado
pH	7,00±0,40	7,20±0,4
DBO	1280±764	105±46
DQO	1908±1521	198±81
SST	1519±1129	47±18
Ssed	15±8	0,60±0,50
Surfactantes	1,2±1,0	0,40±0,20
Óleos & Graxas	77±72	12±10

Os valores médios de pH do esgoto bruto variaram de 6,5 a 7,1 e tratado de foram respectivamente de 6,30 e 7,50, mostrando que houve um aumento do pH ao passar pelo sistema de tratamento, evidenciando valores de neutralidade o que mostra que o conjunto reator UASB-filtro anaeróbio, foi operado de forma estável durante o período experimental. O controle de pH tem como objetivo principal a eliminação do risco de inibição das arqueias metanogênicas evitando assim, a falha do processo.

Os resultados das concentrações de DBO do esgoto bruto variaram de 550 a 900 mg L⁻¹ com reduções significativas ao passar pelo sistema de tratamento com efluente variando na faixa de 45 a 75 mg L⁻¹.

Os valores de DQO do esgoto bruto tiveram comportamento semelhante ao de DBO com valores variando de 750 a 1150 mg L⁻¹ para o esgoto bruto e de 100 a 180 mg L⁻¹ para o esgoto tratado.

Gráfico 1. Variações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO) no esgoto bruto e tratado do Sistema de Tratamento de Efluentes durante o período experimental.

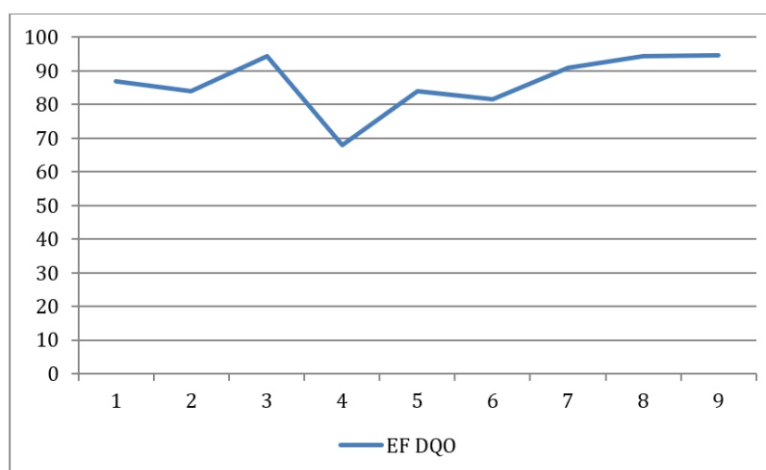


Conforme Gráficos 1 e 2 podemos observar alta eficiência de remoção de DBO e DQO, respectivamente. Para DBO os valores variaram de 88 a 97%, com valor médio de 91% enquanto para DQO a variação foi de 68 a 95% com média de 86%.

MASSÉ E MASSE (2000) avaliando reatores anaeróbios no tratamento de efluentes de frigorífico com DQO variando de 6.908 mg/L a 11.500 mg/L, verificaram redução de 90% a 96% para COV na faixa de 2,07 a 4,93 kg DQO/m³.d e tempo de detenção hidráulico de 48 horas.

TORKIAN E HASHEMIAN (2003) utilizando reator UASB com COV aplicada variando de 13 a 39 kg DQO/m³.d e tempo de detenção hidráulico de 2 a 7 horas, e observaram remoções de DQO de 75% a 90% para afluentes de 3000 mg/L a 4500 mg/L, respectivamente. Neste estudo os valores de eficiência foram semelhantes a MASSÉ E MASSE (2000) e TORKIAN E HASHEMIAN (2003), atendendo a Deliberação Normativa COPAM/CERH 08/2022 do Estado de Minas Gerais.

Gráfico 2 Variações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) no esgoto bruto e tratado do Sistema de Tratamento de Efluentes durante o período experimental



Os parâmetros sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas e surfactantes aniônicos também atenderam aos padrões de lançamento exigidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH 08/2022 do Estado de Minas Gerais.

CONCLUSÕES

O emprego de reatores anaeróbios de alta taxa apresenta-se como uma ferramenta de viabilização do tratamento de águas residuárias do abate de frangos eficaz, visto que corrobora para a sustentabilidade, ética ambiental e populacional e preservação do meio ambiente demonstrando percentuais significativos de mitigação de danos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Saneamento da Escola de Veterinária da UFMG.

REFERÊNCIAS

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 20 ed. Washington, D. C. 1998.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5).

Duda RM, Oliveira RA (2011) Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. Engenharia Sanitária e Ambiental 16:91–100.

MASSÉ, D.I.; MASSE, L. Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. Canadian Agricultural Engineering, v.42, p.131-137, 2000

OLIVEIRA R.A., SANTANA A.M. (2011) Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios seguidos de reator operado em batelada sequencial (RBS). Engenharia Agrícola 31:178-192.

RODRIGUES L.S., SILVA I.J., SANTOS R.L.H., GOULART D.B., OLIVEIRA P.R., VON SPERLING M, FONTES D.O. (2009) Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 61:142—1433.

TORKIAN, A.; EQBALI, S.J.; HASHEMIAN, S.J. The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Resources Conservation and Recycling, v.40, p.1-11, 2003

DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: Um estudo de caso de viabilidade técnica da energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino do Sudoeste de Minas Gerais

Energias Renováveis e Possibilidades de Aplicação

Elaine Gonçalves da Costa

Doutoranda Universidade Federal de Viçosa,
Campus Viçosa - MG – Departamento de
Engenharia Agrícola, Meteorologia Aplicada,
elaine.g.costa@ufv.br

Thais Vasconcelos Silva

Doutoranda Universidade Federal de Viçosa,
Campus Viçosa - MG – Departamento de
Engenharia Agrícola, Meteorologia Aplicada,
thais.silva@ufv.br

Letícia Prechesniuki Alves

Doutoranda Universidade Federal de Viçosa,
Campus Viçosa - MG – Departamento de
Engenharia Agrícola, Meteorologia Aplicada,
leticia.prechesniuki@ufv.br

Fernanda Ribeiro de Moura Veloso

Engenheira Civil, Centro Universitário Una de Bom
Despacho - Departamento Engenharia Civil,
fernandarmv1@gmail.com

Lourival Henrique Ribeiro

Engenheira Civil, Centro Universitário Una de Bom
Despacho - Departamento Engenharia Civil,
lourival.henrique.ribeiro@gmail.com

Resumo

A crescente demanda por energia e a necessidade premente de mitigar os impactos ambientais associados à geração de eletricidade à partir de fontes convencionais impulsionam a busca por alternativas sustentáveis e diversificadas. No contexto brasileiro, a dependência do sistema hídrico para a produção de energia elétrica torna o país vulnerável a flutuações climáticas, evidenciando a importância de explorar fontes complementares. Neste contexto, o presente estudo investigou a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino superior, no sudoeste de Minas Gerais. Por meio de análise de conceitos fundamentais, características tecnológicas e métodos de dimensionamento, buscou-se avaliar o potencial de geração de energia elétrica a partir da radiação solar incidente no local, considerando as particularidades da região. A pesquisa demonstrou que a instalação de painéis fotovoltaicos na instituição apresenta-se como uma alternativa promissora, não apenas para o ponto de vista econômico, mas também em termos de contribuição para o desenvolvimento sustentável. A análise financeira indicou que o investimento em energia solar fotovoltaica é economicamente viável, com potencial de retorno atrativo a curto e médio prazo. Além dos benefícios financeiros, a adoção de energias alternativas promove a sustentabilidade ambiental e a diversificação de matrizes energéticas nacionais. Os resultados deste estudo reforçam a importância de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis de energia, visando um futuro mais limpo e seguro para as próximas gerações..

Palavras-chave: Matriz energética; Energia de fonte renovável; Energia solar fotovoltaica.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a instabilidade econômica e os padrões de consumo insustentáveis da sociedade contemporânea intensificam a demanda por energia e impulsionam debates sobre a segurança energética. No Brasil, a dependência da geração hidrelétrica, agravada pela redução dos níveis de precipitação e seus impactos na produção de energia, evidencia a necessidade de diversificação da matriz energética.

A busca por fontes alternativas de energia renovável, como a solar e eólica, torna-se crucial a fim de garantir o suprimento energético, mitigar os efeitos das flutuações climáticas na produção hidrelétrica e promover a sustentabilidade do sistema. A diversificação da matriz contribui para a estabilidade dos preços da energia, reduzindo a vulnerabilidade do consumidor final a oscilações tarifárias (Ben, 2023).

A exploração de recursos energéticos diversificados e flexíveis aumenta a resiliência do sistema, permitindo adaptação a cenários climáticos adversos e variações na demanda. A transição para uma matriz energética mais diversificada e sustentável é fundamental para garantir a segurança energética, a estabilidade econômica e a preservação ambiental no Brasil (Silva, 2021).

A descentralização da produção energética é fundamental para superar os desafios impostos pela dependência de hidrelétricas, frequentemente associadas a impactos socioambientais e localizadas distantes dos centros de consumo. Um modelo energético descentralizado, baseado na diversificação de fontes, como a solar, eólica e biomassa, é essencial para garantir a segurança e a sustentabilidade do sistema energético brasileiro (Greenpeace, 2016).

O uso indiscriminado de recursos naturais e a exploração de fontes de energia poluentes resultaram em uma crise climática global, evidenciando o conflito entre a civilização humana e o ecossistema terrestre. A escassez de recursos, os impactos ambientais e a crescente demanda por energia geram incertezas sobre o futuro energético, demandando soluções economicamente e tecnicamente viáveis (Campos, 2018).

A energia fotovoltaica, proveniente da conversão direta da luz solar em eletricidade, destaca-se como uma alternativa limpa e renovável, capaz de reduzir os impactos ambientais e contribuir para a diversificação da matriz energética brasileira (Rella, 2017). O avanço tecnológico contínuo e o elevado potencial solar do país reforçam a viabilidade dessa fonte.

Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, em uma Instituição de Ensino Superior no sudoeste de Minas Gerais, visando a redução dos custos com energia elétrica e a promoção da sustentabilidade.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em uma Universidade Privada no Sudoeste de Minas Gerais. A instituição, conta com 3 prédios, área de recreação, cantina, estacionamento, além de uma Fazenda Modelo. O estudo foi realizado levando-se em consideração uma área de telhado de 2900 m² e uma área de ocupação de placas de 2420 m², a serem colocadas no prédio 3 (Figura 1).

Figura 1. Área de estudo – Instituição de Ensino Superior



Fonte: Google Earth, 2024.

Inicialmente, realizou-se um levantamento dos tipos de painéis fotovoltaicos disponíveis e indicados para a região de estudo, considerando os custos, características técnicas, produção, modalidades de instalação e valores associados. Para tanto, foram contatadas empresas que comercializam e instalam sistemas fotovoltaicos no município, buscando informações detalhadas sobre os produtos e serviços oferecidos, levando em consideração para escolha: o tipo e qualidade do material e tempo de vida útil do sistema.

Para análise e estimativa de produção necessária de energia, foram coletados os dados de consumo da instituição de ensino, por meio do registro de consumo estimado nas contas de energia elétrica. As informações fornecidas incluíram os valores pagos à concessionária durante o ano de 2019, discriminados em consumo de ponta e fora de ponta, e o consumo total de energia, anual, mensal e médias diárias mensais.

A escolha do ano de 2019 período de análise, justifica-se pela pandemia de COVID-19, que impactou o consumo de energia da instituição em 2020, 2021 e início de 2022, devido à suspensão das aulas presenciais. Assim, os dados de 2019 representam um cenário de consumo mais próximo da normalidade, considerando os períodos de aulas, férias e sazonalidade, permitindo uma estimativa mais precisa da demanda energética para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Inicialmente foram coletadas informações pertinentes para o desenvolvimento do trabalho como o levantamento dos painéis fotovoltaicos indicados e utilizados na região, bem como, o custo do equipamento, as características gerais, formas e valores de implantação e instalação. Neste contexto, foi realizado um levantamento de valores dos componentes necessários para instalação do sistema.

Com base nas estimativas de consumo/gasto mensal de energia elétrica e no custo de implantação, procedeu-se ao dimensionamento e à análise de diferentes cenários. A viabilidade do projeto foi avaliada por meio da aplicação de indicadores financeiros amplamente utilizados, incluindo o método do payback descontado, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Para o cálculo do valor presente líquido (VPL), adotou-se a taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), fixada em 6% ao ano, como taxa de desconto para os fluxos de caixa futuros. O payback foi determinado considerando o valor financiado do investimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise de consumo, o primeiro passo foi classificar o tipo de consumidor. A instituição de ensino é classificada como consumidor trifásico do grupo A, ou seja, classificado como cliente de alta e média tensão, pertencente ao subgrupo A4, classe comercial, subclasse outros serviços e outras atividades e modalidade tarifária TUSD Livre A4 Verde.

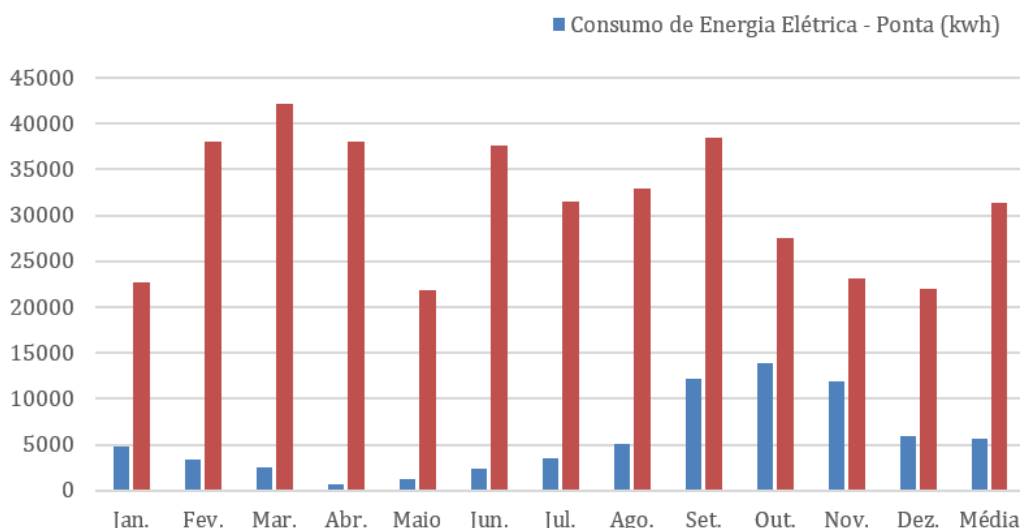
A modalidade tarifária verde é estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e períodos do ano, bem como de única tarifa de demanda de potência. Outra característica importante é a modulação contratual de dias livres, ou seja, presença do posto tarifário - horário de ponta, contextualizado como período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de sistema elétrico, aprovado pela ANEEL, com exceção aos sábados, domingos e feriados nacionais (ANEEL, 2022).

O consumo de ponta ocorre tipicamente no final da tarde e início da noite, quando a demanda por energia é mais elevada devido ao uso simultâneo de diversos equipamentos elétricos em residências, comércios e indústrias. Esse período de pico de demanda impõe maior pressão sobre o sistema elétrico, exigindo maior capacidade de geração e transmissão de energia. Consequentemente, as tarifas de energia durante o horário de ponta são mais elevadas, visando desestimular o consumo excessivo e garantir a estabilidade do sistema (ANEEL, 2023).

O consumo fora de ponta compreende os demais horários do dia, nos quais a demanda por energia é significativamente menor. Durante a madrugada e parte da manhã, por exemplo, a maioria das pessoas está dormindo e muitas indústrias operam com capacidade reduzida, resultando em um consumo de energia mais baixo. As tarifas de energia durante o horário fora de ponta são mais baixas, incentivando o deslocamento do consumo para esses períodos e contribuindo para o equilíbrio do sistema elétrico (Faria, 2024).

O horário fora de ponta, indica o período que não o de 3 (três) horas consecutivas definidas no horário de ponta. Na Figura 2, demonstram-se o consumo e o cálculo da média de consumo de energia elétrica para o período de estudo, contemplando as duas modalidades de horários.

Figura 2. Consumo mensal no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O sistema foi projetado, com o intuito de gerar energia elétrica, conforme apresenta-se na Equação 1, de maneira que atendesse a demanda de gasto da instituição. Destaca-se, ainda, que o valor expressa a quantidade total de energia a ser gerada nos horários de ponta e fora ponta.

Uma projeção do custo médio mensal de energia foi realizada, conforme detalhado na Tabela 1, dos valores gastos pela instituição, com o consumo de energia elétrica. O cálculo considerou os valores pagos por kWh, excluindo-se, no entanto, os impostos incidentes sobre a tarifa, como ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Contribuição para Iluminação Pública. Essa simplificação pode gerar uma discrepância entre o valor estimado e o valor efetivamente faturado pela concessionária.

Tabela 1: Estimativa do valor médio faturado (gasto de energia da instituição)

Descrição	Quantidade total de energia a ser gerada	Tarifa/Preço	Valor (R\$)
Encargo kWh HFP	31.340,75	0,13075621	4.098,00
Encargo kWh HP	5.622,75	1,69680154	9.540,69
Valor mensal total			13.638,69

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A elaboração de um orçamento detalhado e preciso, constitui um elemento fundamental no planejamento e execução de projetos. A estimativa rigorosa dos custos, tanto de mão de obra quanto de materiais, é essencial para garantir a transparência e a viabilidade financeira do empreendimento (Cardoso, 2020). No presente estudo, o orçamento para a instalação do sistema fotovoltaico, apresentado na Tabela 1, foi obtido mediante cotação em três empresas especializadas na prestação de serviços e fornecimento de materiais.

Analisando os valores apresentados, o menor valor apresentou um investimento total para a implantação e instalação do sistema estimado em R\$ 1.490.000,00 (um milhão, quatrocentos e noventa mil reais) para pagamento à vista. Considerando o financiamento, após análise de três instituições financeiras e seleção da menor taxa de juros disponível, o valor total a ser desembolsado é de R\$ 2.015.865,75 (dois milhões, quinze mil, oitocentos e sessenta e cinco reais e setenta e cinco centavos).

A análise do sistema fotovoltaico proposto indica uma capacidade de geração de energia estimada em 56.575 kWh/mês. Considerando o preço do kWh praticado pela concessionária, a produção energética do sistema resultaria em uma economia financeira projetada de R\$ 25.126,65 na fatura mensal de energia elétrica da instituição.

A estimativa da geração de energia foi baseada na capacidade de geração de energia elétrica de cada placa solar do sistema, calculando o valor final estimado, levando em consideração todo o sistema implantado. É importante destacar que a economia financeira projetada foi calculada com base no consumo atual de energia da instituição.

Os resultados da análise demonstram que o sistema fotovoltaico proposto apresenta potencial para suprir integralmente a demanda energética da instituição, com a possibilidade de geração de excedentes energéticos. Essa geração excedente pode resultar em créditos energéticos junto à concessionária ou em outras formas de retorno financeiro para a instituição, conforme a legislação vigente.

A fim de analisar a viabilidade econômica da proposta de instalação do sistema fotovoltaico, foi calculado o tempo de retorno do investimento (*payback*), comparando o investimento inicial com a economia gerada ao longo dos anos. O *payback* representa o período necessário para que o balanço entre o investimento e a economia acumulada se torne positivo.

A Tabela 2, exibe o fluxo de caixa projetado para o sistema. É importante ressaltar que a análise não incorporou potenciais variações na tarifa de energia elétrica, alterações no consumo energético e custos de manutenção dos equipamentos. Tais fatores, caso ocorram, podem influenciar o resultado final do *payback* descontado.

Apresenta-se ainda na Tabela 2, os valores da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL), indicadores financeiros cruciais na avaliação da viabilidade econômica do investimento. A TIR corresponde à taxa de desconto que anula o VPL, indicando a rentabilidade intrínseca do projeto. O VPL, por sua vez, expressa o valor atual dos fluxos de caixa futuros do projeto, descontados a uma taxa de juros predeterminada, representando o ganho líquido proporcionado pelo investimento.

A análise conjunta dessas métricas permite uma avaliação mais completa da viabilidade econômica do projeto, considerando não apenas o tempo de retorno do

investimento, mas também a sua rentabilidade, o valor gerado para a instituição e ainda a sustentabilidade ambiental.

O fluxo de caixa projetado indica que o último valor negativo ocorre no sétimo ano, resultando em um período de *payback* de 7,34 anos. É importante ressaltar que os cálculos foram realizados considerando o valor financiado para a instalação, incluindo juros. Caso o investimento fosse realizado com a implantação do valor à vista, o período de *payback* seria reduzido significativamente.

Tabela 2: Indicadores de viabilidade econômica.

Ano	Investimento	Fluxo	Reajuste anual	Fluxo descontado	Saldo
0	-R\$ 2.015.865,50		4,8% a.a	-R\$ 2.015.865,50	-R\$ 2.015.865,50
1		R\$ 301.519,20	R\$ -	R\$ 284.452,08	-R\$ 1.731.413,42
2		R\$ 315.992,12	R\$ 14.472,92	R\$ 281.231,86	-R\$ 1.450.181,56
3		R\$ 331.159,74	R\$ 15.167,62	R\$ 278.048,11	-R\$ 1.172.133,45
4		R\$ 347.055,41	R\$ 15.895,67	R\$ 274.900,39	-R\$ 897.233,06
5		R\$ 363.714,07	R\$ 16.658,66	R\$ 271.788,31	-R\$ 625.444,75
6		R\$ 381.172,35	R\$ 17.458,28	R\$ 268.711,46	-R\$ 356.733,29
7		R\$ 399.468,62	R\$ 18.296,27	R\$ 265.669,45	-R\$ 91.063,84
8		R\$ 418.643,11	R\$ 19.174,49	R\$ 262.661,87	R\$ 171.598,03
9		R\$ 438.737,98	R\$ 20.094,87	R\$ 259.688,34	R\$ 431.286,36
10		R\$ 459.797,41	R\$ 21.059,42	R\$ 256.748,47	R\$ 688.034,83
11		R\$ 481.867,68	R\$ 22.070,28	R\$ 253.841,88	R\$ 941.876,72
12		R\$ 504.997,33	R\$ 23.129,65	R\$ 250.968,20	R\$ 1.192.844,92
13		R\$ 529.237,20	R\$ 24.239,87	R\$ 248.127,05	R\$ 1.440.971,97
14		R\$ 554.640,59	R\$ 25.403,39	R\$ 245.318,07	R\$ 1.686.290,04
15		R\$ 581.263,33	R\$ 26.622,75	R\$ 242.540,88	R\$ 1.928.830,92
16		R\$ 609.163,97	R\$ 27.900,64	R\$ 239.795,13	R\$ 2.168.626,05
17		R\$ 638.403,85	R\$ 29.239,87	R\$ 237.080,47	R\$ 2.405.706,53
18		R\$ 669.047,23	R\$ 30.643,38	R\$ 234.396,54	R\$ 2.640.103,07
19		R\$ 701.161,50	R\$ 32.114,27	R\$ 231.743,00	R\$ 2.871.846,07
20		R\$ 734.817,25	R\$ 33.655,75	R\$ 229.119,49	R\$ 3.100.965,56
21		R\$ 770.088,48	R\$ 35.271,23	R\$ 226.525,69	R\$ 3.327.491,24
22		R\$ 807.052,72	R\$ 36.964,25	R\$ 223.961,24	R\$ 3.551.452,49
23		R\$ 845.791,25	R\$ 38.738,53	R\$ 221.425,83	R\$ 3.772.878,32
24		R\$ 886.389,24	R\$ 40.597,98	R\$ 218.919,13	R\$ 3.991.797,45
25		R\$ 928.935,92	R\$ 42.546,68	R\$ 216.440,80	R\$ 4.208.238,25

Taxa de juros (TMA)	6,00%	TIR	19,15%
----------------------------	-------	------------	--------

Payback descontado	7,34	anos	
---------------------------	------	------	--

VPL	R\$ 4.208.238,25
------------	------------------

Elaborado pelos autores, (2024)

O *payback* obtido, embora não seja o ideal, indica o tempo necessário para que o sistema gere economias suficientes para cobrir o investimento inicial, ou seja, o momento em que o Valor Presente Líquido (VPL) se torna zero. Considerando a vida útil estimada do sistema em 25 anos, o VPL ao longo desse período representa a economia total gerada.

A Taxa Interna de Retorno (TIR), que indica a rentabilidade do projeto, foi calculada em 19,15%. Com base nesses resultados, conclui-se que a proposta é economicamente viável e vantajosa, com o retorno financeiro superando o investimento inicial em menos de 10 anos e com potencial de gerar lucro substancial ao longo do tempo.

Os recursos energéticos renováveis, tais como a energia solar e eólica, apresentam-se em abundância e, diferentemente dos combustíveis fósseis, possuem uma distribuição geográfica ampla. Embora a fonte primária desses recursos seja gratuita, sua conversão em energia utilizável implica custos. Aspectos econômicos, a qualidade da energia gerada e a adequação às necessidades do consumidor final são fatores determinantes na escolha da tecnologia a ser empregada. Os custos associados à geração de energia a partir de diferentes tecnologias estão sujeitos a variações, impulsionadas principalmente por avanços tecnológicos. Nesse contexto, as recentes tendências tecnológicas mostram-se promissoras para o desenvolvimento e a competitividade das fontes renováveis de energia (Nogueira et al., 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de um orçamento detalhado e preciso constitui um elemento crucial para o planejamento e a execução eficaz de qualquer projeto. A estimativa rigorosa dos custos, abrangendo tanto a mão de obra quanto os materiais, é essencial para garantir a transparência e a viabilidade financeira do empreendimento.

A análise econômica realizada, fundamentada nos critérios de payback descontado, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), evidenciou a viabilidade financeira da proposta. O tempo de retorno do investimento foi estimado em 7,34 anos, com potencial de economia significativa a curto e longo prazo. Ressalta-se que a não inclusão dos impostos na análise sugere um tempo de retorno ainda menor, caso estes fossem considerados.

Além dos benefícios econômicos, a implementação do sistema fotovoltaico contribuirá para a sustentabilidade ambiental e social, uma vez que a geração de energia elétrica ocorrerá sem emissão de gases poluentes ou consumo de recursos não renováveis. A diversificação da matriz energética proporcionada pela instalação reduzirá a dependência de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Bandeiras Tarifárias. Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição. 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20221003_Proret_Submod_7_1_V2_5C.pdf. Acesso em 28/09/2024.

ANELL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Modalidades Tarifárias. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em 28/09/2024.

BEN – Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>

CAMPOS, Diego Monteiro Gomes de. (2018) Recursos Naturais: Renováveis Versus Não Renováveis, Resiliência e a Uso Sustentável. Disponível em: <<http://gestaouniversitaria.com.br/artigos/recursos-naturais-renovaveis-versus-nao-renovaveis-resiliencia-e-a-uso-sustentavel>> Acesso em: 20 maio 2020.

CARDOSO, Roberto Sales. Orçamento de obras em foco. Oficina de textos, 2020.

FARIAS, Carla de Souza. Impactos da urbanização e calor antropogênico em eventos extremos de chuva e temperatura em Manaus: estudo de modelagem urbana. Tese. 2024.

GREENPEACE. [R]evolução Energética: rumo a um brasil com 100% de energias limpas e renováveis. Rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis. 2016. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/planet4brasilstateless/2018/07/Relatorio_RevolucaoEnergetica2016_completo.pdf> Acesso em: 21 abr. 2024.

GORE, A. Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Barueri, SP: Manole, 2010.

NOGUEIRA, C.E.C; VIDOTTO, M.L.; NIEDZIALKOSKI, R.K.; SOUZA, S.N.M.; CHAVES, L.I.; EDWIGES, T.; SANTOS, D.B.; WERNCK, I.. Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of Brazil, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Amsterdam, v.29, p.151-157, 2014.

RELLA, Ricardo. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, 2017.

SILVA, Gabriela Nascimento da. O hidrogênio verde no refino do petróleo: um estudo de caso para a redução de emissões e uso eficiente de recursos energéticos. um estudo de caso para a redução de emissões e uso eficiente de recursos energéticos. Ensaio Energético. 2021. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/o-hidrogenio-verde-no-refino-do-petroleo-um-estudo-de-caso-para-a-reducao-de-emissoes-e-uso-eficiente-de-recursos-energeticos/>. Acesso em: 1 mar. 2024.

QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA CAPTADA A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE SUPERFÍCIES DE TELHADO

Recursos hídricos e qualidade da água

Jonathan Castro Amanajás
Prof. Dr. Centro de Ensino Superior do Amapá
Curso de Engenharia Civil
jonathan.amanajas@ceap.br

Leonardo Brito dos Reis
Eng. Civil. Esp. Emp. Paulista de Habitação - EPH
leonardo.brito@ephincorporadora.com.br

Lana Emily Lobo de Queiroz do Nascimento
Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil, Centro de Ensino Superior do Amapá - CEAP,
lanaemilylobodequeiroz@gmail.com

INTRODUÇÃO

A utilização de fontes hídricas alternativas pode ser uma solução para o problema da escassez e da preservação da água potável. Dentre estas fontes destaca-se a água da chuva, de captação simples e de baixo custo, seu aproveitamento favorece, ainda, a redução do escoamento superficial e minimiza os problemas com inundações, principalmente em áreas urbanas.

Segundo Zerbinatti et al. (2011), a captação e aproveitamento de água da chuva ocorre por grande parte da população mundial, principalmente aquelas que vivem em regiões semiáridas ou em zonas rurais, a exemplo do nordeste brasileiro e das comunidades ribeirinhas na Amazônia, respectivamente.

Para Klein (2017) a utilização de água da chuva em atividades onde não se exige potabilidade é uma técnica atraente ecologicamente, visto que reduz a quantidade de água potável consumida. No Brasil, alguns municípios possuem legislações que preveem a adoção de técnicas que promovam a conservação da água, complementa o autor.

No entanto, o uso da água da chuva requer controle de sua qualidade para que se protejam os usuários e os componentes do sistema (Ribeiro; Marinoski, 2020). Logo, é preciso caracterizar o uso para o qual a água da chuva será direcionada e, então, aplicar normas técnicas que limitem os valores dos parâmetros qualitativos e definir o tratamento a que a água será submetida.

Diversas são as técnicas de captação de água da chuva para reutilização, porém a mais comum e conhecida é a realizada a partir da superfície de telhados, por apresentar melhor qualidade e ser uma técnica simples quando comparada aos sistemas que coletam água subterrânea (Zerbinatti et al., 2011).

Assim, considerando os regimes privilegiados de chuvas da região amazônica, este estudo teve como objetivo analisar a qualidade da água da chuva captada a partir de diferentes tipos de superfícies de telhado (telhado de fibrocimento, cerâmico e metálico) para consumo humano e fins potáveis em Macapá – AP.

METODOLOGIA

No desenvolvimento deste estudo, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca do reuso de água da chuva considerando sua qualidade para consumo humano e fins potáveis, a partir de sua coleta em diferentes tipos de superfícies de telhado. Em seguida, montou-se um experimento em que a qualidade da água da chuva captada em três diferentes tipos de superfícies de telhado foi analisada: telhado de fibrocimento, cerâmico e metálico, todos localizados na cidade de Macapá - AP, na avenida dos Tupiniquins, bairro do Buritizal. Os sistemas eram próximos uns dos outros facilitando a coleta das amostras de água da chuva, bem como eram compostos por telhado, calhas em PVC, reservatório de eliminação de primeira chuva e reservatório de armazenamento final.

Montados os experimentos, esperou-se um dia com chuva para a coleta das amostras de água da chuva, que foram levadas ao laboratório Análise Química Mineral Ambiental e Industrial, onde foram analisados os parâmetros: cor aparente (indica a presença na água de substâncias dissolvidas), turbidez (indica a resistência da água à passagem de luz), sólidos totais dissolvidos (indica a presença de matéria em solução ou em estado coloidal presente na amostra), condutividade elétrica (medição de concentrações iônicas), dureza total (indica a presença de sais alcalinos terrosos ou de outros metais bivalentes), alcalinidade (indica a presença de sais alcalinos de sódio e cálcio), potencial Hidrogeniônico (pH) e coliformes (indica a presença de microrganismos patogênicos na água).

Os padrões de qualidade da água variam conforme o tipo de uso. Dentre as legislações estudadas, e utilizadas para validar os resultados amostrais do presente estudo, quanto à qualidade da água para consumo humano e uso potável, revisou-se: a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que dispõe sobre a classificação e padrões de qualidade para corpos d'água; a NBR 15527/2019 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que dispõe sobre o aproveitamento de água da chuva em coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis; e a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS) que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a leitura das legislações selecionadas e avaliação dos resultados das amostras de água da chuva, analisou-se sua qualidade a partir dos seguintes eixos: Padrões de reuso de água da chuva segundo a legislação; e Influência da superfície de captação de água da chuva em sua qualidade para consumo humano.

PADRÕES DE REUSO DE ÁGUA DA CHUVA SEGUNDO A LEGISLAÇÃO

Em decorrência da escassez de água potável em diversos lugares do planeta, a captação de água da chuva tornou-se uma prática comum. No entanto, para o reuso de água da chuva é preciso, primeiramente, considerar algumas influências que podem ocorrer na hora da coleta. Segundo Zerbinatti et al. (2011) o reuso de água da chuva sem tratamento microbiológico pode influenciar, de forma negativa, por exemplo, processos industriais que exigem uma qualidade microbiológica mais elevada.

A captação de água da chuva para reuso pode ocorrer em diferentes tipos de superfícies, como, por exemplo, coberturas de telhados. Diversos fatores podem influenciar a qualidade da água captada em telhados, entre eles está o tipo de telha. Existem diversos materiais e modelos disponíveis no mercado, como telhas cerâmicas, metálicas, fibrocimento, concreto, fibra de vidro, fibra vegetal e PVC (Ribeiro e Marinoski, 2020).

Nesse sentido, vale ressaltar algumas características dessas superfícies no escoamento e captação de água da chuva. O telhado cerâmico, por exemplo, é mais permeável, no sentido que quase 50% da água é absorvida e o restante escoada, logo pode ocorrer nesse processo a contaminação da água. De acordo com Ribeiro e Marinoski (2020) o escoamento das águas pluviais sobre a cobertura de telhas cerâmicas pode superar a resistência à abrasão do material e transportar sedimentos para o reservatório, tanto das partículas de sujeira depositadas superficialmente, quanto do próprio material cerâmico.

Quanto ao telhado metálico, a luz do sol incidindo neste proporciona um aquecimento da estrutura, eliminando de maneira eficaz muitos microrganismos, fato que proporciona contaminação microbiológica geralmente inferior nas coberturas metálicas em comparação a outros tipos de coberturas (Zerbinatti, 2011; Ribeiro e Marinoski, 2020). Já o telhado de fibrocimento possui os maiores coeficientes de escoamento superficial, mas dependendo da idade, manutenção e limpeza pode apresentar mais impurezas devido ao acúmulo de água parada (Ribeiro e Marinoski, 2020).

Desta maneira, entende-se que para a água da chuva ser reutilizada deve, portanto, obedecer aos parâmetros legais de consumo humano e padrões de potabilidade, segundo regulamentações nacionais. No Brasil, compete ao Ministério da Saúde (MS) estabelecer os padrões de potabilidade da água para consumo humano e ao Sistema Único de Saúde (SUS) a competência pela fiscalização de águas para consumo humano (Souza et al. 2018).

A Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005) dispõe sobre a classificação e os padrões de qualidade para consumo humano das águas doces (Tabela 01). No que diz respeito ao consumo humano, as classes e seus respectivos usos são descritos assim: Classe especial, abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Classe 1, abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Classe 2, abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; e Classe 3, abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado. Nas águas de Classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo d'água.

Tabela 01: Padrões de qualidade da água doce para consumo humano segundo a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Cor aparente	uH	-	75	75
Turbidez	uT	40	100	100
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	500	500	500
pH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	200	1000	4000

Legenda: uH: Unidades Hazen de cor; uT: Unidades Nefelométricas de turbidez; mg/l: miligrama por litro; pH: Potencial Hidrogeniônico; NMP/100 ml: número mais provável por 100 mililitro. Fonte: Adaptada da Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Na Tabela 02 vê-se os parâmetros e padrões de qualidade da água para consumo humano e o que é preciso para ser considerada água potável segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021). Esta legislação se aplica à água destinada ao consumo humano (água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independente da sua origem) proveniente de sistema de abastecimento de água, solução alternativa de abastecimento de água, coletiva ou individual, e carro-pipa.

Tabela 02: Padrões de potabilidade da água para consumo humano segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS)

Parâmetro	Unidade	VMP
Cor aparente	uH	15
Turbidez	uT	5
Dureza	mg/l	300
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	500
pH	-	6,0 a 9,0
Coliformes (<i>E. Coli</i>)	NMP/100 ml	Ausente

Legenda: VMP: Valor Máximo Permitido; uH: Unidades Hazen de cor; uT: Unidades Nefelométricas de turbidez; mg/l: miligrama por litro; pH: Potencial Hidrogeniônico; NMP/100 ml: número mais provável por 100 mililitro. Fonte: Adaptada da Portaria nº 888/2021 do MS.

A NBR 15527 (ABNT, 2019), que dispõe sobre o aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis, especifica que o sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada conforme previsto pelas NBR 10844 (ABNT, 1989) e NBR 5626 (ABNT, 2020). Os pontos de consumo, como, por exemplo, uma torneira de jardim, devem ser de uso restrito e identificados com placa de advertência com a seguinte inscrição “água não potável” e identificação gráfica. Os reservatórios de água de distribuição de água potável e de água de chuva devem ser separados. Os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Para usos mais restritivos não potáveis deve ser utilizada a Tabela 03.

Tabela 03: Padrões mínimos de qualidade da água de chuva para fins não potáveis segunda a NBR 15527/2019

Parâmetro	Unidade	Análise	Valor
Turbidez	uT	Mensal	< 5,0
pH	-	Mensal	6,0 a 9,0
Coliformes (<i>E. coli</i>)	NMP/100 ml	Semestral	< 200

Legenda: uT: Unidade de turbidez; pH: Potencial Hidrogeniônico; NMP/100 ml: número mais provável por 100 mililitro. Fonte: NBR 15527 (ABNT, 2019).

De acordo com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigentes, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes (Brasil, 2005).

INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA PARA CONSUMO HUMANO

Os valores instantâneos dos parâmetros físico-químicos e microbiológico para as amostras de água da chuva coletadas nos telhados de fibrocimento, metálico e cerâmico em Macapá – AP são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04: Resultados obtidos para cada tipo de superfície

Parâmetro	Resultado		
	Fibrocimento	Metálica	Cerâmica
Cor aparente (uH)	62,0	13,0	4,0
Turbidez (uT)	4,8	3,5	1,8
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	19,4	8,3	5,7
Condutividade elétrica (iS/cm)	38,7	16,6	11,5
Dureza (mg/l de CaCO ₃)	< 0,7	< 0,7	< 0,7
Alcalinidade (mg/l de CaCO ₃)	16,0	8,0	6,0
pH	7,3	6,7	7,2
Coliforme fecal (<i>E. Coli</i> , NMP/100 ml)	ausência	ausência	ausência

Legenda: uH: Unidades Hazen de cor; uT: Unidades Nefelométricas de turbidez; mg/l: miligrama por litro; μ S/cm: microsiemes por centímetro; mg/l de CaCO₃: miligramas por litro de carbonato de cálcio; pH: Potencial Hidrogeniônico; NMP/100 ml: número mais provável por 100 mililitro.

Fonte: Dos autores.

Analisando os resultados do parâmetro cor aparente (Tabela 04), e comparando-os com o valor apresentados na Tabela 02, verificou-se que apenas a água coletada em telhado de fibrocimento não atende as legislações vigentes, que preconiza valor máximo de 15 uH.

Quanto a turbidez, todas as amostras apresentaram valores abaixo das referências normativas (Tabelas 01, 02 e 03), cujo melhor resultado foi apresentado para a amostra coletada em telhado cerâmico, 1,8 uT (Tabela 04). De acordo com a Portaria

nº 888/2022 do Ministério da Saúde o valor máximo permitido de turbidez na água distribuída para consumo humano deve ser de 5,0 uT (Tabela 02).

Para o parâmetro sólidos dissolvidos totais verificaram-se que todas as amostras apresentaram valores abaixo dos valores de referência (500 mg/l). No entanto, a amostra coletada em telhado de fibrocimento foi a que apresentou maior valor, 19,4 mg/l (Tabela 04), sugerindo que seu desgaste e porosidade naturais influenciaram no resultado final.

As análises para condutividade elétrica revelaram que a amostra que obteve o melhor resultado foi a coletada em superfície cerâmica, 11,5 µS/cm, seguidas das amostras em superfície metálica e em fibrocimento, respectivamente, 16,6 µS/cm e 38,7 µS/cm.

Quanto a dureza, caracterizada pela presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) ou de outros metais bivalentes, todas as amostras apresentaram valores menores que 0,7 mg/l de CaCO₃, caracterizando-as como água mole (menor que 50 mg/l de CaCO₃).

Nas análises para alcalinidade (acidez da água) observou-se que a amostra de água da chuva coletada em telhado de fibrocimento apresentou o maior valor, 16 mg/l de CaCO₃, provavelmente por conta de poeira e demais impurezas encontradas em sua superfície.

Em relação ao pH, a água da chuva coletada a partir do telhado cerâmico apresentou pH de 7,2 (Tabela 04), mais aproximado do pH neutro que é de 7,0. Contudo, de modo geral, todas as amostras apresentaram valor de pH na faixa de referência de acordo com as legislações consideradas, entre 6,0 e 9,0 (Tabelas 01, 02 e 03).

Em todas as amostras não se detectou presença de coliformes fecais (*E. coli*), estando em conformidade com a Portaria Nº 888/2021, que estabelece que a água potável deve apresentar ausência de coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli* (*E. coli*) em 100 ml de amostra e ausência de bactéria do grupo coliformes totais em 100ml.

Após as análises dos principais parâmetros de potabilidade da água para consumo humano, verificou-se que o telhado cerâmico não exerce influência negativa na coleta de água da chuva, uma vez que as amostras de água da chuva analisadas estão de acordo com os padrões de potabilidade segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS), que dispõe quanto aos padrões de qualidade para a água tratada destinada ao consumo humano.

Embora os telhados de fibrocimento e metálico tenham apresentado em alguns parâmetros bons, não foram suficientes para estarem em conformidade para consumo humano e se enquadrariam apenas para reuso em fins não potáveis de acordo com a NBR 15527/2019, que dispõe quanto ao uso de água da chuva coletadas de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Na Tabela 05 observam-se os resultados de um estudo realizado por Rocha et al. (2007) em que avaliaram os mesmos parâmetros e superfícies do presente estudo para um único evento de chuva em Goiânia - GO. Os autores destacam que nas análises dos parâmetros turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza, sólidos e coliformes totais os valores obtidos nas coletas foram baixos, condizendo com os padrões estabelecidos pelas legislações. De modo geral, a água da chuva captada em telhado metálico apresentou melhores resultados.

Tabela 05: Valores dos parâmetros analisados em diferentes telhados para água de chuva segundo Rocha et al. (2007).

Parâmetro	Tipo de cobertura		
	Fibrocimento	Metálica	Cerâmica
Turbidez (uT)	1,26	1,07	2,55
Cor aparente (uH)	11,00	3,70	9,80
pH	7,51	6,34	6,25
Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	37,00	7,00	8,00
Dureza total (mg/L de CaCO ₃)	32,00	6,00	6,00
Condutividade elétrica (S/cm)	61,20	1,90	5,10
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	24,30	2,70	6,00
<i>E. Coli</i> (NMP 100 ml)	2200,00	9,20	1300,00

Legenda: pH: Potencial Hidrogeniônico; uH: Unidades Hazen de cor;
uT: Unidades Nefelométricas de turbidez; mg/l: miligrama por litro;
NMP/100 ml: número mais provável por 100 milímetro.
Fonte: Rocha et al. (2007).

Costa et al. (2020) também estudaram a influência da cobertura de telhado de fibrocimento e cerâmico na qualidade da água da chuva escoada na região insular de Belém - PA. Na Tabela 06 observam-se os parâmetros analisados e seus respectivos resultados. De modo geral, a água da chuva captada em cobertura de telhado de fibrocimento apresentou melhores resultados.

Tabela 06: Valores médios dos parâmetros analisados em diferentes telhados para água de chuva segundo Costa et al. (2020).

Parâmetro	Tipo de cobertura	
	Fibrocimento	Cerâmica
Turbidez (uT)	0,20	1,44
Cor aparente (uH)	17,35	33,89
pH	7,01	6,72
Alcalinidade total (mg/l de CaCO ₃)	8,37	3,64
Dureza total (mg/l de CaCO ₃)	21,35	8,88
Condutividade elétrica (S/cm)	43,70	101,18
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	22,59	48,02
<i>E. Coli</i> (NMP/100 ml)	3,58	102,7

Legenda: uT: Unidades Nefelométricas de turbidez;
uH: Unidades Hazen de cor; pH: Potencial Hidrogeniônico; mg/l: miligrama por litro;
NMP/100 ml: número mais provável por 100 milímetro.
Fonte: Costa et al. (2020).

Por mais que os resultados entre os estudos tenham se apresentado de forma similar, observa-se que o ambiente ao redor do ponto de coleta e região influenciam desde o índice pluviométrico até o resultado final das análises, visto que duas pesquisas ocorreram na região norte e outra no centro-oeste. Quanto mais limpa a superfície maior é o grau de pureza da água, por outro lado, quanto mais porosa a cobertura mais impurezas são encontradas nas amostras inferindo no resultado final.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises laboratoriais das amostras coletadas de diferentes tipos de coberturas, sendo elas telhado de fibrocimento, metálico e cerâmico, a água da chuva ao percorrer nessas superfícies, manifestou-se com diferentes características em decorrência do tipo de material de cada telhado.

Pressupõe-se que o índice pluviométrico da região pode ser um fator decisivo para as possíveis alterações nos resultados finais das amostras. Isto é, dependendo do nível das chuvas iniciais pode ocorrer uma variação de volume de um telhado para o outro levando em consideração o tipo de material (mais ou menos poroso) e dificultando, portanto, a permanência de impurezas. Porém, quando o volume pluviométrico é menor e menos intenso, essas impurezas acumulam ocasionando alterações nos parâmetros que estabelecem um padrão de consumo e reuso.

De acordo com os resultados obtidos, sugere-se que o telhado cerâmico, em comparação aos demais, apresentou qualidade da água da chuva superior e mais próxima aos valores de referência da legislação que estabelece o padrão para o consumo humano. No entanto, recomenda-se a implantação de um sistema de desinfecção para torná-la segura para o consumo humano.

Vale destacar que a limpeza, idade e proximidade com a vegetação dos telhados, bem como a sazonalidade das chuvas pode interferir na qualidade da água da chuva, seja para consumo ou reutilização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações prediais de águas pluviais. NBR 10844. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalação predial de água fria. NBR 5626. Rio de Janeiro, 2019. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. NBR 15527. Rio de Janeiro, 2019. 14 p.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Publicado no D.O.U.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Publicado no D.O.U.

COSTA, K. A. D.; CARVALHO, F. I. M.; FERREIRA, F. D. P. B.; NASCIMENTO, T. V.; MELLO, R. F. A.; SERRA, I. S. D.; SILVA, J. M. S.; LOPES, M. S. B.; SOUZA, C. M. N.; DANTAS, K. G. F.; DANTAS FILHO, H. A. Influência do tipo de telhado na qualidade da água de chuva coletada em comunidades ribeirinhas. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 3, p. 384-391, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0029>

KLEIN, L. de B. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial em diferentes tipos de coberturas. 2017. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178985>. Acesso em: 28 de Dez de 2023.

RIBEIRO, A. K. M.; MARINOSKI, D. L. Estudo sobre materiais para coberturas utilizadas em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais. *Mix Sustentável*, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 53-66, 2020.

ROCHA, B. C. C. M.; REIS, R. P. A.; ARAÚJO, J. V. G; CAMPLESI, D. C. F. Aproveitamento de águas de chuva coletadas em coberturas de diferentes materiais visando seu aproveitamento. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 18., 2007, Goiás. Anais ... Goiás: ABRH, 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/4343d6612e274cb1c2423e1a2eb2e233_8a4734deb90b3e584d3e241bcc26b438.pdf. Acesso em: 17 de jun de 2023.

SOUZA, J. M.; OMENA, S. P.; FÉLIX, W. P. Captação de água de chuva para consumo humano: aspectos técnicos e legais. *Revista Científica da FASETE*, v. 12, n. 20, p. 81-94, 2018.

ZERBINATTI, O. E.; SOUZA, I. U. L. de; PEREIRA, A. J.; SILVA, A. B. da; REINATO, R. A. de O. Qualidade da água proveniente da chuva coletada em diferentes tipos de telhados. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 3, p. 019-037, jul./set. 2011.

DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PESCADO COMPOSTA POR REATORES ANAERÓBIOS EM ESCALA REAL

Análise de tecnologias e inovações voltadas para a preservação do meio ambiente

Kátia Daniele do Nascimento

Aluna do Curso de graduação em Aquacultura, Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de Medicina Veterinária Preventiva, katiadaniele@gmail.com.

Rosângela de F. de Paula Vitor Marques

Prof. Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques, Universidade Vale do Rio Verde, roeflorestal@hotmail.com.

Giovanna Salustiano Scarabelli

Aluna do Curso de graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de Medicina Veterinária Preventiva, gioscarabelli@hotmail.com.

Ariane Mística Rodrigues

Bióloga, Fazenda São Paulo, arianemisticarodrigues@gmail.com

Claudiomir da Silva Santos

Prof. Dr. Claudiomir da Silva Santos, Instituto Federal Sul de Minas, campus Muzambinho, claudiomirsilvasantos@gmail.com.

Luciano dos Santos Rodrigues

Professor de Controle Ambiental e Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de Medicina Veterinária Preventiva, lsantosrodrigues@gmail.com.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de dois reatores anaeróbios em série (reator aneróbio em chicanas – RAC) seguido de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB), em escala real, tratando efluentes de frigorífico de pescado. Devido ao seu grande potencial poluidor caracterizado por valores elevados de matéria orgânica e nutrientes é importante a busca por sistema de tratamento eficiente. O trabalho foi desenvolvido em um frigorífico de pescado no município de Cássia, estado de Minas Gerais, que possui uma estação de tratamento de efluentes composta por peneira estática, caixa de gordura, tanque de equalização, reator RAC e reator UASB. O programa de monitoramento consistiu em um conjunto de análises físico-químicas dos afluentes e efluentes de todos os pontos da estação, os quais foram coletados com frequência quinzenal e analisados no laboratório de saneamento da EV-UFMG. Os parâmetros avaliados foram temperatura, pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF), amônia, ácidos voláteis e alcalinidade. Foram observadas altas eficiências de remoção de DBO e DQO, possibilitando nas condições operacionais impostas alcançar valores médios acima de 90%. O sistema conseguiu atender os parâmetros da legislação ambiental de Minas Gerais quanto à eficiência de remoção do sistema de tratamento.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia; Agroindústria; Meio Ambiente; sustentabilidade Ambiental.

INTRODUÇÃO

O efluente gerado pela indústria de processamento de pescado consiste principalmente em água, escamas, sangue, vísceras, carcaças, cabeças e outros descartes. O volume alto de água potável

fundamental em quase todas as etapas do processamento e para o processo de higienização da indústria é variável com: o tipo de espécie, quantidade abatida por dia, produto final, tecnologia adotada, metodologia de higienização dentre outros aspectos (Murphy, 2006).

Apreocupação não é somente com a água que entra, mas também com aquela que sai do processo, pois o volume de água utilizada pela indústria está diretamente ligado à quantidade de efluente produzido. O efluente gerado na indústria de processamento de pescado apresenta alta carga orgânica (Carawan, 1991), sua composição exige um tratamento que consiga remover essa carga, o que dificulta a implementação de metodologias eficazes. Outro ponto em questão é a heterogeneidade do que é tratado, pois inclui grande quantidade de sangue e gordura, tornando o processo ainda mais complexo. É importante ressaltar que todo efluente gerado pela indústria precisa ser tratado antes de ser lançado em corpo hídrico receptor.

O processo de digestão anaeróbica consiste na atuação de diversos microrganismos que transformam compostos orgânicos mais complexos (proteínas, carboidratos e lipídios) em produtos mais simples como o gás metano e carbônico (Santos, 2016). Esse é o processo fermentativo no qual a matéria orgânica é transformada em biogás e biofertilizante na ausência de oxigênio, alcançando níveis entre 60 % e 70 % de metano e 30 % e 40 % de dióxido de carbono. É um sistema que acontece de forma equilibrada, envolvendo processos sequenciais onde 3 (três) grupos de bactérias atuam: as bactérias fermentativas (acidogênicas), as bactérias sintróficas (acetogênicas) e as arqueas metanogênicas.

O reator anaeróbio compartimentado consiste em uma unidade com várias chicanas verticais, que forçam o afluente a se movimentar por densas mantas compostas de populações bacterianas. Esse processo permite um maior contato entre a água residuária e os microrganismos, conferindo maior eficiência na degradação da matéria orgânica particulada e solúvel, além de dificultar a perda de sólidos por arrastamento e diminuir a incidência de choques orgânicos e hidráulicos (Pereira; Campos; Moterani, 2010). A capacidade de separar os microrganismos acidogênicos dos metanogênicos nas câmaras do reator, é o que gera o aumento da resistência às cargas de choque hidráulicas e orgânicas, de temperatura, de pH e da presença de materiais tóxicos no afluente. Outra significativa vantagem do ABR é a capacidade de hidrólise e acidificação, tornando o efluente adequado para o processo metanogênico (Van Haandel; Kato; Cavalcanti, 2006).

Nos reatores UASB, a biomassa cresce dispersa no meio e não aderida a um meio suporte especialmente incluído. Essa biomassa, ao crescer, pode formar pequenos grânulos, correspondentes à aglutinação de diversas espécies microbianas. Esses grânulos tendem a servir de meio de suporte para outras bactérias. A granulação auxilia no aumento da eficiência do sistema, mas não é fundamental para o funcionamento do reator (Von Sperling, 2018).

A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, justificando a denominação manta de lodo. Devido a esta elevada concentração, o volume requerido pelos reatores anaeróbicos de manta de lodo é bastante reduzido se comparado aos outros sistemas (Von Sperling, 2018).

O líquido entra no fundo e se encontra no reator como o leito do lodo, causando adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa. O fluxo do líquido é ascendente, e como resultado da atividade anaeróbica, são formados gases (principalmente metano e gás carbônico) e bolhas das quais apresentam também uma tendência ascendente. De forma a reter biomassa no sistema, impedindo que ela saia com o efluente, a parte superior dos reatores de manta de lodo apresenta uma estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás, e de separação e retorno dos sólidos (biomassa). Essa estrutura é denominada de separador trifásico, por separar o líquido, os sólidos e os gases. Sua forma é encontrada comumente, como tronco de pirâmide ou um cone invertido (Von Sperling, 2018).

O Principal objetivo de o trabalho avaliar a eficiência de dois reatores anaeróbica de alta taxa no tratamento de efluentes do processamento de pescado em escala real.

METODOLOGIA

Local de Pesquisa

O trabalho foi desenvolvido em um frigorífico de pescado localizado no sudoeste do estado de Minas Gerais, funcionando em escala real.

O empreendimento possui uma estação de tratamento de efluentes composta por tratamento primário (TP), que engloba peneira estática, caixa de gordura e tanque de equalização, reator anaeróbico compartimentado (RAC) e reator anaeróbico UASB (UASB). Este sistema é responsável por tratar todo o efluente proveniente da parte de processamento de tilápias. O efluente é encaminhado para todas as fases de tratamento por gravidade, através de tubos e conexões.

Foto 1 – Vista do Reator Anaeróbico de Chicanas (RAC)



Foto 2 – Vista do Reator Anaeróbio UASB



O programa de monitoramento foi realizado quinzenalmente por meio de análises físico-químicas. Os principais parâmetros avaliados foram: pH, DQO, DBO, sólidos, alcalinidade, AVT e amônia. As amostras foram coletadas na entrada da peneira estática, saída do tanque de equalização (abrangendo o tratamento primário), saídas das câmaras 1, 2 e 3 do reator ABR e saída do reator UASB. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Veterinária da UFMG.

As análises físico-químicas foram realizadas conforme descrito no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (AWWA/APHA/WEF, 1998). As amostras coletadas foram acondicionadas e transportadas, de maneira a manter suas características até o laboratório. Em seguida, foram resfriadas e mantidas sob refrigeração até o momento da realização das análises de maneira a manter suas características.

O monitoramento do sistema de tratamento permite a comparação do efluente com os padrões da legislação ambiental, além de permitir calcular a carga poluidora e avaliar o sistema de forma global incluindo a eficiência de cada etapa do processo.

Foi realizada análise estatística dos valores obtidos por meio de média, desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximo e mínimo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos parâmetros operacionais são mostrados na tabela 1, e os valores médios de DQO e DBO na tabela 2

Tabela 1: Parâmetros Operacionais dos reatores de chicanas e UIASb

	Vazão (m ³ /d)	Volume (m ³)	TDH (d)	COV DBO (kg/m ³ .d)	COV DQO (kg/m ³ .d)
Reator ABR	30	100	3,3	1,35	2,60
Reator UASB	30	120	4,0	0,25	0,64

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão da DBO, DQO e da relação DBO/DQO ao longo do tratamento.

PARÂMETRO	EB	TP	RAC	UASB
DBO	4669 ± 2053	4554±1859	975±294	168 ± 132
DQO	9443 ± 1408	8619±1246	2553±1452	580 ± 341
DBO/DQO	2,44 ± 1,65	2,33±1,24	2,94 ± 1,97	3,98±1,95

Observa-se que foram aplicadas cargas orgânicas volumétricas distintas nos dois reatores devido a eficiência elevada de remoção de DBO e DQO no RAC. Observa-se na tabela 2, que o teor de matéria orgânica, inicialmente elevada no afluente, é reduzido consideravelmente em cada unidade de tratamento. A grande variação do esgoto bruto para efluente final, é notada nos valores de DBO, que variaram e DQO no esgoto bruto para o reator UASB.

O esgoto bruto apresentou concentração média de DBO de 4668,67 mg/L, sendo que o RAC removeu grande parte da matéria orgânica, suportando a grande variação do mesmo. Este reator foi projetado para remover a maior parte dos sólidos em suspensão, realizar a hidrólise e iniciar a acidificação, fazendo com que o sistema UASB tivesse uma maior eficiência.

Cosmann et al. (2009) encontraram valores médios de DBO para afluentes de indústria de processamento de pescado de 1475 mg/L e efluente pós-tratamento de 603 mg/L, também em sistema anaeróbio. Porém, nesse trabalho o esgoto bruto e o efluente final apresentaram valores médios superiores.

Quanto a eficiência, o tratamento primário apresentou o menor desempenho, com uma remoção de 2,46%, enquanto o RAC apresentou remoção total de 78,60% e o UASB 83,81%. A eficiência da DBO tende a ser sempre menor, pois mede somente a fração biodegradável, porém, o sistema projetado apresentou valores muito altos.

A eficiência global do sistema foi de 96,41%, e a legislação preconiza remoção de no mínimo 75%, ou seja, apresentou remoção muito superior ao estabelecido pela legislação.

Os valores médios de eficiência de remoção de DQO no sistema variaram de 8,73 a 77,30%, com a maior parte da remoção observada no reator UASB, apesar do reator RAC ter apresentado alta capacidade de remoção de DQO, com remoção total de 72,97%. Nas primeiras etapas do tratamento, peneira, caixa de gordura e tanque de equalização, a remoção foi menor, em virtude de possíveis arrastes de sólidos.

ZHU et al., (2008) citados por Santos (2011), afirmaram que o reator RAC é uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuárias com altas concentrações de DQO, e que a compartimentalização do reator reforça a capacidade de adaptação às variações de choque orgânico, isto demonstra estabilidade e favorecendo a atividade microbiana.

Conforme a Deliberativa Normativa Conjunta COPAM CERH-MG nº01, de 05 de maio de 2008, quanto aos lançamentos realizados direto ou indiretamente nos corpos de água, o parâmetro DQO terá como limite máximo o valor de até 180 mg/L, ou este limite só poderá ser ultrapassado quando o sistema apresentar tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70%. A eficiência de remoção da DQO foi satisfatória, 93,86%, o sistema atendeu a legislação ambiental vigente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento biológico de reator RAC seguido de UASB suportou bem as altas concentrações de carga orgânica volumétrica e de sólidos suspensos do esgoto bruto da indústria processadora de pescado, mostrando ser um sistema que suporta bem essas variações. Em termos de remoção de DBO DQO, e sólidos suspensos totais, sistema apresentou eficiência média superiores a 90%.

REFERÊNCIAS

CARAWAN, R.E. Processing Plant Waste Management Guidelines for Aquatic Fishery Products. In: Seafood and The Environment - 1991. Pollution Prevention Short Course, 36. 1991.

CAVALCANTI, P.F.F.; VAN HAANDEL, A.; KATO, M.T. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. In.: CHERNICHARO, C. A. L.. Pós-tratamento de efluentes de Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte:PROSAB, 2001. Vol.2. 544p.

MURPHY, N. Meat Processing Environmental Impacts: Environmental Impacts from Meat and Fish Processing. Waste Reduction Resource Center. Disponível em: <<http://e4r4.tetradyn.com/chem-bio-med-health-docmts>>. Acesso em 25 jul 2024.

PEREIRA, E.L.; CAMPOS, C.M.M.; MOTERANI, F. (2010) Physical-chemical and operational performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) treating swine wastewater. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 32, n. 4, p. 399-405.

SANTOS, C.A. Tratamento de Efluente de Laticínio em Reator Anaeróbico Compartimentado. Universidade Federal de São Paulo- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2016.

SEMAD. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08 de 2022. Sistema Integrado de Informação Ambiental. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla>. Acesso em: 24 de jan de 2024.

VAN HAANDEL, A.C.; KATO, M.T.; CAVALCANTI, P.F.F. (2006) Anaerobic Reactor Design Concepts for the Treatment of Domestic Wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, v. 5, n. 1, p. 21-38.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª Ed. 425 p. Ed. UFMG. 2018.

SEJA ECO: UMA PLATAFORMA DE SOFTWARE QUE AUXILIA NA DESTINAÇÃO CORRETA DE RESÍDUOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

Gestão de resíduos

Cléber Moterani Tavares

Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL.
cleber.tavares@sou.unifal-mg.edu.br

Luiz Felipe Ramos Turci

Prof. Dr. da Universidade Federal de Alfenas.
UNIFAL.
luiz.turci@unifal-mg.edu.br

Valquíria Mikaela Rabelo

Professora da rede pública e privada da cidade de Poços de Caldas.
profa.val.rabelo@gmail.com

Rafael de Oliveira Tiezzi

Professor Dr. Universidade Federal de São Carlos (UFScar), Centro de Ciências da Natureza, colaborador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL- MG).
rafaeltiezzi@ufscar.br

Resumo

Os resíduos sólidos, quando descartados de forma inadequada, geram diversos impactos ambientais negativos como poluição do solo e da água, entupimento de bueiros, proliferação de vetores de doenças e aumento das emissões de gases do efeito estufa. Diante desses impactos o presente trabalho tem como objetivo utilizar a tecnologia da informação na promoção da sustentabilidade por meio do desenvolvimento de um sistema de informação que seja capaz de conectar a população de Poços de Caldas a organizações, serviços e pessoas que procuram dar um destino adequado aos resíduos urbanos e aumentar seus índices de reaproveitamento. A metodologia envolveu o levantamento de requisitos e o uso do Método Incremental de desenvolvimento de software para gerar uma plataforma acessível a toda população via navegador de internet, sem que precisasse ser instalada em celulares, computadores ou tablets. Foram mapeadas e cadastradas nessa plataforma mais de uma dezena de iniciativas locais de reciclagem chamadas Atitudes Ecológicas e categorizados cerca de cinquenta tipos de resíduos e mais de quatrocentos exemplos de materiais que podem ser reciclados. Os resultados iniciais mostraram que a interface dinâmica e responsiva da plataforma permite uma busca rápida e eficaz por informação e relaciona resíduos e Atitudes Ecológicas de maneira eficiente. A ferramenta ainda está em fase inicial de implantação no município mas já se mostra promissora no âmbito das soluções de tecnologia da informação usadas na busca pela sustentabilidade.

Palavras-chave: Gestão de resíduos. Tecnologia da informação. Conscientização ambiental. Plataformas digitais. Desenvolvimento sustentável.

INTRODUÇÃO

Antes do século XVIII, a maior parte da população mundial vivia no campo e utilizava práticas mais sustentáveis em relação ao meio ambiente. Com o advento da Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra e rapidamente disseminada por todo o mundo, ocorreram diversas transformações sociais, econômicas e ambientais. Esse período foi marcado por grande desenvolvimento econômico e tecnológico, que alterou significativamente a dinâmica da sociedade (Stearns et al. 2020).

A partir desse momento, observou-se o aumento do êxodo rural e o crescimento populacional diretamente ligados ao desenvolvimento econômico, uma vez que o aumento da população intensificou a demanda por produtos e serviços (Baudin et al. 2022; Tavares et al. 2023). Outra mudança significativa foi na relação entre o homem e o meio ambiente, pois os recursos naturais passaram a ser extraídos em maior escala para a produção de bens. Esse processo deu origem ao que chamamos de economia de materiais, ou modelo consumista, o qual envolve cinco etapas: extração, produção, distribuição, consumo e descarte (Elheddad et al. 2021; Panizzut et al. 2021).

Quando os resíduos são descartados de forma inadequada, causam sérios impactos ambientais, como poluição do solo e da água, alagamentos causados pelo entupimento de bueiros, e a proliferação de vetores de doenças, como roedores e insetos, que encontram nos resíduos um ambiente favorável para sua reprodução. Além disso, a queima irregular de resíduos gera a emissão de gases do efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global (Fei et al. 2021; Mishra et al. 2023).

Nas últimas décadas, os altos índices de geração de resíduos têm exigido iniciativas governamentais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010. No entanto, os resultados ainda são insuficientes. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2021, o Brasil coletou 65,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). Desse total, apenas 1,75 milhão de toneladas de resíduos recicláveis secos foram coletados (cerca de 2,7%). E ao final do processo, somente 1,12 milhão de toneladas foram efetivamente recuperadas. Isso significa que 64% dos resíduos recicláveis coletados foram recuperados, mas toda essa quantidade representa apenas 1,7% do total de resíduos urbanos coletados no país, um número extremamente baixo. Além disso, o SNIS revelou que apenas 32% dos municípios brasileiros possuíam coleta seletiva nesse período, o que evidencia a gravidade do problema (Brasil, 2010; SNIS, 2021).

Ao analisar a situação na cidade de Poços de Caldas, localizada no sul de Minas Gerais e conhecida por seu turismo, constata-se que a cidade captou em 2021, um total de 20,28 kg/habitante/ano de resíduos recicláveis. Entretanto, desse total, apenas 0,97 kg/habitante/ano foi efetivamente recuperado, demonstrando que grande parte dos resíduos não recebe a destinação adequada. Destaca-se de forma negativa ainda o fato de que no ano referência 2022 a cidade não disponibilizou estes dados na plataforma (SNIS, 2021. SNIS, 2022).

Nesse contexto, torna-se essencial a implementação de medidas que garantam a coleta e recuperação eficazes dos resíduos, reduzindo seu descarte inadequado no meio ambiente. Uma ação relevante diz respeito ao fortalecimento das associações

de catadores, que desempenham um papel fundamental na coleta sustentável. No entanto, observa-se que boa parte da população desconhece essas instituições ou não sabe como contatá-las para realizar o descarte correto de seus resíduos.

Considerando que a sociedade atual está fortemente conectada às tecnologias digitais, e que, segundo pesquisa da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2024), o Brasil possui 480 milhões de dispositivos digitais em uso, sendo uma média de 2,2 celulares por habitante, a presente pesquisa teve como objetivo desenvolver uma plataforma para conectar a população de Poços de Caldas às associações de coleta de resíduos da cidade. Essa solução, que recebeu o nome de Seja Eco, um acrônimo para Sistema Especialista em Juntar Atitudes Ecológicas, visa contribuir para a redução do descarte inadequado de resíduos e aumentar os índices de reaproveitamento, promovendo uma gestão ambiental mais eficiente e sustentável. A plataforma desenvolvida faz parte de um projeto de doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas, que está em andamento e previsto para ser concluído em 2026.

METODOLOGIA

A primeira etapa do projeto consistiu no levantamento de requisitos para a construção da plataforma on-line, o objetivo foi gerar um software que pudesse funcionar totalmente via web, ou seja, sem que o usuário precisasse fazer qualquer instalação, e que fosse adequado ao tamanho de tela de qualquer dispositivo.

O método de desenvolvimento empregado no projeto foi o Método Incremental, amplamente explorado por Roger Pressman em suas obras, que propõe a construção de software em etapas incrementais. Nesse método, cada incremento entrega uma parte funcional do sistema, permitindo que usuários e equipe de desenvolvimento obtenham feedback precoce e realizem ajustes ao longo do processo (Pressman, 2015).

Em seguida foi feito um mapeamento das organizações, empresas, associações, cooperativas e profissionais autônomos da reciclagem da cidade de Poços de Caldas. Serviços públicos que promovem a coleta de resíduos também foram mapeados. Todas essas iniciativas foram previamente cadastradas na plataforma e nomeadas de Atitudes Ecológicas.

Por fim, com a colaboração dessas Atitudes Ecológicas, foi feito um levantamento de tipos e exemplos de resíduos trabalhados por elas. A plataforma então foi alimentada com aproximadamente 50 categorias e 400 exemplos de resíduos. Entre as principais categorias de resíduos estavam eletrônicos, papel, madeira, metal, vidro, plástico, gordura e borracha. Entre os principais exemplos de resíduos estavam garrafas pet, pneus, pilhas, móveis, óleo de cozinha, celulares, caixas de papelão, potes de vidro e latinhas de alumínio.

Na base de dados da plataforma, cada Atitude Ecológica se relaciona com uma ou mais categorias de resíduos. Para fins de implementação, essas categorias foram chamadas de tags e tratadas de forma independente, de forma que tanto os exemplos de resíduos quanto às Atitudes Ecológicas pudessem recebê-las. Esse tipo de

relacionamento, na área de bancos de dados relacionais, é conhecido como relacionamento muitos-para-muitos (Date, 2015). No caso do Seja Eco, muitos resíduos podem ser tratados por muitas Atitudes Ecológicas e muitas Atitudes Ecológicas podem tratar muitos resíduos. A Figura 1 exemplifica esse esquema de relacionamento.

Figura 1: relacionamento entre Atitudes Ecológicas, Tags e Resíduos utilizado na plataforma



Fonte: Os autores

Esse formato de organização dos dados torna possível buscas bastante flexíveis. Por exemplo, quando um usuário usa o campo de busca da plataforma e digita o termo “eletrônico”, que é uma das tags, isso ativa tanto as Atitudes Ecológicas quanto os resíduos ligados a ela. E se o usuário, ao invés de digitar eletrônico, digitar o termo “celular”, o resultado será o mesmo, já que o resíduo celular também está ligado à tag eletrônico, que por sua vez está ligado às Atitudes Ecológicas que o tratam.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da interface desenvolvida mostra que se trata de um sistema intuitivo e de fácil acesso a todos. Com um layout dinâmico, que se orienta de acordo com o tamanho da tela do usuário, o software exibe em sua área central a tela de busca (Figura 2), que emite sugestões à medida que os termos vão sendo digitados pelo cidadão.

Outra característica importante é a presença dos botões de busca “Eu Tenho” e “Eu Preciso” que permitem a pesquisa tanto por aqueles que geram resíduos quanto por aqueles que coletam ou recebem esses resíduos. Por fim, as Atitudes Ecológicas cadastradas aparecem logo abaixo dos botões de pesquisa (Figura 3) e isso permite que o usuário obtenha informações relevantes sobre cada uma delas, mesmo que não queira fazer nenhum tipo de busca na plataforma.

Figura 2: página inicial do Seja Eco



Fonte: os autores

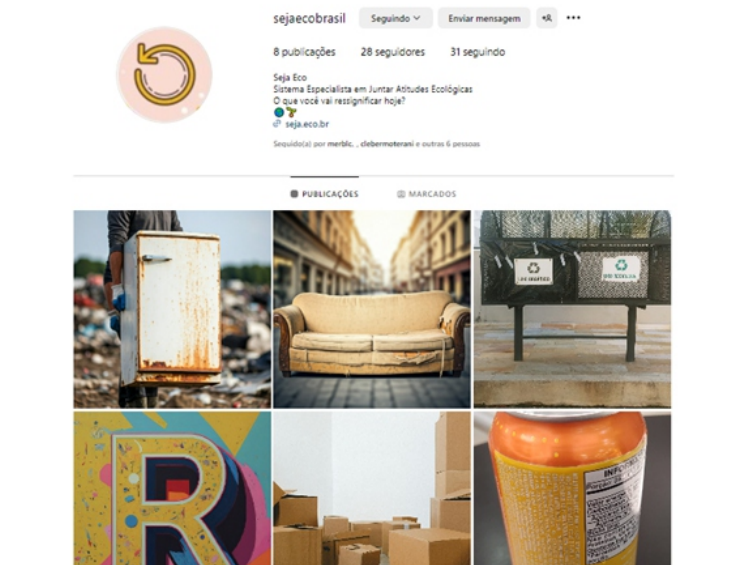
Após o desenvolvimento, iniciou-se a fase de divulgação, ocorrendo em algumas escolas da cidade de Poços de Caldas e na rede social Instagram (Figura 4). A divulgação nos espaços escolares tem como objetivo promover a sensibilização das novas gerações diante a importância da gestão adequada de resíduos, enquanto a divulgação no Instagram objetiva alcançar um público mais amplo e diversificado, utilizando o engajamento proporcionado pelas redes sociais para disseminar informações de forma rápida e atrativa.

Figura 3: página inicial do Seja Eco



Fonte: os autores

Figura 4: Página em rede social



Fonte: os autores

Desde o início da divulgação foram contabilizadas um pouco mais de 500 buscas onde foram pesquisados 140 termos diferentes entre categorias e exemplos de resíduos, sendo que os termos “eletrônico”, “metal” e “óleo de cozinha” foram os mais buscados, representando respectivamente 13%, 7% e 6% do total de buscas.

Com esses resultados preliminares, o Seja Eco visa estabelecer uma conexão maior entre a população poçosaldense e as Atitudes Ecológicas existentes no município. Ao integrar tecnologia da informação e sustentabilidade, a plataforma promove a comunicação e o compartilhamento de responsabilidades, aumentando a participação ativa dos cidadãos e potencializando o aumento nos índices de reaproveitamento de resíduos urbanos.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com a pesquisa de Lima et al. (2022), que objetivou mitigar a produção excessiva de resíduos sólidos, por meio do desenvolvimento um aplicativo voltado para a gestão de resíduos e educação ambiental que conectou condomínios residenciais às cooperativas de Belém-PA, promovendo uma parceria entre ambos. Os autores fizeram visitas técnicas às cooperativas, para que então fossem definidas as funcionalidades práticas e intuitivas do sistema. Os autores destacam ainda que embora apresentado como protótipo, o aplicativo tem potencial para abrir novas possibilidades de soluções ambientais por meio da tecnologia móvel.

Araldi et al. (2021), também realizou um estudo na cidade de São José do Herval-RS, onde os autores desenvolveram um aplicativo para smartphones que auxiliasse na gestão de resíduos sólidos do município. Esta ferramenta apresenta a funcionalidade de identificar locais de descarte irregular de resíduos na cidade. Os autores tiveram registradas 23 denúncias, com destaque para resíduos domiciliares secos, volumosos

e industriais. O estudo também permitiu propor melhorias nas práticas de educação ambiental, contribuindo para o aperfeiçoamento de políticas públicas e reforçando a interface entre tecnologia, sociedade e meio ambiente.

No aspecto da democratização do acesso à tecnologia, destaca-se que o Seja Eco não exige que o usuário faça o *download* de um aplicativo, evitando o consumo de memória do seu dispositivo. A plataforma foi desenvolvida para ser acessada via navegador, funcionando de maneira responsiva em qualquer tipo de aparelho, como smartphones, tablets ou computadores, sem a necessidade de instalação prévia. Mesmo os dispositivos antigos ou com pouca memória tem condições técnicas de acessar e utilizar satisfatoriamente a plataforma.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A plataforma representa uma solução eficiente para a gestão sustentável dos resíduos sólidos na cidade de Poços de Caldas, conectando a população com as Atitudes Ecológicas por meio da tecnologia. Por não depender de download, a ferramenta democratiza o acesso evitando o consumo de memória dos dispositivos dos usuários. Essa abordagem reforça a importância de soluções digitais acessíveis, que podem ser utilizadas em diferentes dispositivos, aumentando as chances de adesão e participação cidadã.

O projeto Seja Eco encontra-se em uma fase inicial de implantação, e os próximos passos incluirão a análise da efetividade da plataforma em conectar a população com as Atitudes Ecológicas cadastradas. Também serão realizadas análises para identificar se a ferramenta promoveu melhora nos índices de reaproveitamento dos resíduos da cidade, e se, com isso, tem potencial para se tornar uma plataforma integrante permanente das políticas de sustentabilidade e de gestão ambiental na cidade de Poços de Caldas.

AGRADECIMENTOS

A todas as associações, cooperativas, organizações, empresas e profissionais autônomos da reciclagem que contribuíram para a construção da plataforma.

REFERÊNCIAS

ARALDI, Rafael et al. Inovação e desenvolvimento sustentável: um estudo de caso sobre os efeitos do uso do aplicativo para gestão de resíduos sólidos em São José do Herval - RS. Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 1, 29 nov. 2021. Centro Universitario La Salle - UNILASALLE. <http://dx.doi.org/10.18316/desenv.v10i3.9018>.

BRASIL. LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <https://encurtador.com.br/dgnFX>. Acesso em: 14 out. 2024.

DATE, C. J. Projeto de banco de dados e teoria relacional: formas normais e tudo o mais. São Paulo: Novatec, 2015.

ELHEDDAD, Mohamed et al. The effect of the Fourth Industrial Revolution on the environment: the relationship between electronic finance and pollution in oecd countries. *Technological Forecasting And Social Change*, [S.L.], v. 163, p. 120485, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120485>.

FEI, Xunchang et al. Climate change affects land-disposed waste. *Nature Climate Change*, [S.L.], v. 11, n. 12, p. 1004-1005, 15 nov. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-021-01220-5>.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Pesquisa revela que Brasil tem 480 milhões de dispositivos digitais em uso, sendo 2,2 por habitante. Publicado em: jun. 2024. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticias/pesquisa-revela-brasil-tem-480-milhoes-dispositivos-digitais-uso-sendo-22-habitante>. Acesso em: 14 out. 2024.

LIMA, Adonai Zanoni da Silva et al. Solid Waste Belém: aplicativo para educação ambiental na coleta de resíduos sólidos em condomínios residenciais. *Informática na Educação: teoria & prática*, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 52-70, 7 dez. 2022. Tikinet Edicao Ltda. - EPP. <http://dx.doi.org/10.22456/1982-1654.120048>.

MISHRA, Rakesh Kumar et al. Fresh Water availability and Its Global challenge. *British Journal Of Multidisciplinary And Advanced Studies*, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 1-78, 29 maio 2023. European Centre for Research Training and Development. <http://dx.doi.org/10.37745/bjmas.2022.0208>.

PANIZZUT, Nina et al. Exploring relationship between environmentalism and consumerism in a market economy society: a structured systematic literature review. *Cleaner Engineering And Technology*, [S.L.], v. 2, p. 100047, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100047>.

PRESSMAN, Roger S. Engenharia de software. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. SNIS. Mapa de Indicadores de Resíduos Sólidos - Cobertura total (In015). Poços de Caldas. 2021. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/residuos_solidos/mapa-indicadores?codigo=3151800. Acesso em: 14 out. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. SNIS. Mapa de Indicadores de Resíduos Sólidos - Cobertura total (IN015). Poços de Caldas. 2022. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/residuos_solidos/mapa-indicadores?codigo=3151800. Acesso em: 14 out. 2024.

STEARNS, Peter N. et al. *The Industrial Revolution in World History*. Routledge, [S.L.], p. 1-304, 16 nov. 2020. Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9781003050186>.

TAVARES, Cléber Moterani et al. ANÁLISE DA COLETA E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM QUATRO MUNICÍPIOS DO SUL DE MINAS GERAIS E AVALIAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA COMO FERRAMENTA PARA MELHORIA DOS INDICADORES. *Gestão Ambiental*, 2023. Disponível em: <https://abrir.link/WfPmWA> Acesso em 14 de out. de 2024.

ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A COLETA SELETIVA DO IFPB, CAMPUS SOUSA, UNIDADE SÃO GONÇALO - PB

Reciclagem e Gerenciamento de Resíduos

Vera Lúcia da Rocha Silva
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa -
graduanda em Tecnologia em Agroecologia
weraroccha2@gmail.com

Gilcean Silva Alves
Prof. Dr. Gilcean Silva Alves - Instituto Federal da
Paraíba - Campus Sousa - Departamento de
Agroecologia
Gilcean.alves@ifpb.edu.br

Jéssica Pedrosa de Lima
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
graduanda em Tecnologia em Agroecologia
jessicapedrosadelima77@gmail.com

Lucas Andrade de Moraes
Professora Dr. - Secretaria Municipal de
Educação - Malta - PB
drluccasandrade@gmail.com

Mirtes Alves Leite de Lima
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
Graduanda em Tecnologia em Agroecologia
mirtes.leite@academico.ifpb.edu.br

Francisco de Sales de Oliveira Filho
Professor Dr. - Instituto Federal da Paraíba
Campus Sousa - Departamento de produção
pesquisa e extensão
francisco.filho@ifpb.edu.br

Resumo

O presente trabalho objetivou-se em identificar as práticas para realização da coleta seletiva e os mecanismos de educação ambiental adotadas no Instituto Federal da Paraíba campus Sousa-PB (unidade São Gonçalo), analisar sua eficácia e destacar a importância dessas ações no contexto da preservação ambiental, bem como analisar se existe uma coleta seletiva e destinação final correta dos resíduos sólidos. Foram realizadas visitas aos setores, como salas de aula, laboratórios e espaços de convivência, onde observou-se a presença ou ausência dos coletores de resíduos sólidos e de mecanismos de conscientização para a educação ambiental, posteriormente realizou-se uma abordagem qualitativa adotada que permitiu uma compreensão mais profunda das práticas relacionadas à coleta seletiva, a observação direta foi o principal método de coleta de dados. Realizaram-se discussões em sala de aula com alunos da disciplina de Legislação Agrária e Ambiental do curso de tecnologia em agroecologia, para captar suas percepções sobre a coleta seletiva e a educação ambiental no campus. Essas interações visam obter insights valiosos dos participantes sobre o tema. A conclusão do estudo indica que, apesar da oferta de cursos em Agroecologia e Meio Ambiente no IFPB Campus Sousa, não há práticas eficazes de coleta seletiva e educação ambiental. A falta de programas contínuos de conscientização, coletores adequados e comunicação abrangente revela a necessidade de uma abordagem mais integrada para engajar a comunidade acadêmica na conscientização ambiental.

Palavras-chave: Conscientização; Preservação Ambiental; Comunidade Acadêmica; Educação ambiental.

INTRODUÇÃO

A sociedade vem enfrentando uma série de desafios ambientais de proporções globais, que vão desde o aquecimento global até a poluição do solo e dos recursos hídricos. Para mitigar esses problemas, a conscientização e a ação em relação ao meio ambiente se tornaram fundamentais. Nesse contexto, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) instituída em agosto de 2010, pela Lei 12.305 traz as práticas de gestão de resíduos sólidos, tal como a coleta seletiva, como ferramentas essenciais para promover a preservação do meio ambiente e garantir um futuro sustentável.

Por sua vez, a coleta seletiva é uma estratégia prática que, quando inserida em um contexto de educação ambiental, contribui significativamente para a conscientização e ação em prol da preservação ambiental. De acordo com Kuhn, Botelho e Almeida (2018), a coleta seletiva tem vários benefícios, no que diz respeito a dimensões sociais e ambientais, não apenas reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, mas também estimula a economia circular, gerando trabalho e renda por meio da inserção social do catador.

No âmbito educacional é inegável que as escolas apresentem um papel crucial na formação de cidadãos conscientes e responsáveis em relação ao meio ambiente, a educação ambiental incentiva a participação da sociedade em debates sobre questões ambientais, estabelecendo uma conexão entre a natureza e o ser humano, promovendo a ética nas relações e criando uma visão de justiça para todos os seres vivos. Essa abordagem ressalta a importância de engajar a comunidade na busca por soluções sustentáveis e na construção de um futuro mais equilibrado (RUIZ, 2005).

O objetivo do trabalho foi identificar as práticas para realização da coleta seletiva e os mecanismos de educação ambiental adotadas no campus Sousa-PB (unidade São Gonçalo), analisar sua eficácia e destacar a importância dessas ações no contexto da preservação ambiental, bem como analisar se existe uma coleta seletiva e destinação final correta dos resíduos sólidos.

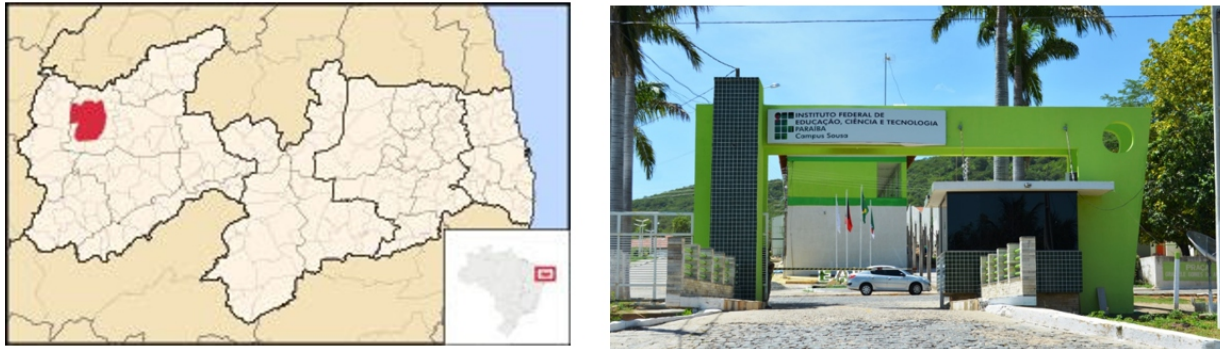
METODOLOGIA

Neste estudo, empregou-se uma abordagem de pesquisa de campo para investigar as práticas e educação ambiental para coleta seletiva no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Sousa (Unidade São Gonçalo), que é localizado no distrito de São Gonçalo, pertencente ao município de Sousa – PB, endereço - Rua Pedro Antunes, s/nº - São Gonçalo - CEP: 58.814-000, sua latitude 06° 50' 40,34" S e longitude 38° 18' 55,53" W, sendo situada a 441,9 km da capital João Pessoa, como mostra a figura 1.

Para coleta de dados foram realizadas visitas extensivas em todo o campus, abrangendo blocos de salas de aula, laboratórios, setores de produção e áreas de convivência, após as visitas, registrou-se a presença ou ausência de coletores de

resíduos sólidos em todos os espaços e foi fotografado os mecanismos de comunicação para a educação ambiental existentes.

Figura 1- localidade Sousa/ IFPB campus Sousa- unidade São Gonçalo



Adotou-se uma abordagem qualitativa para compreender profundamente as práticas e percepções relacionadas à coleta seletiva e à educação ambiental. Realizou-se discussões em sala de aula para obter insights dos participantes (alunos da disciplina de Legislação Agrária e Ambiental) sobre suas percepções em relação à coleta seletiva e à educação ambiental, tal abordagem permitiu explorar os contextos, as motivações e as experiências dos indivíduos envolvidos, possibilitando uma análise mais rica e contextualizada das práticas observadas. O principal instrumento de coleta de dados foi a observação direta durante as visitas aos setores do campus.

Por meio dessa metodologia, buscou-se obter uma compreensão abrangente das práticas e educação ambiental para coleta seletiva no Campus, a partir da perspectiva dos envolvidos, visando contribuir para a melhoria dessas práticas e para o avanço da conscientização ambiental na comunidade acadêmica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de investigação, um levantamento abrangente foi realizado para avaliar a presença de coletores de resíduos sólidos em todos os setores do IFPB Campus Sousa, conforme detalhado na tabela 01. A análise abordou a disponibilidade desses coletores em todos os setores, fornecendo uma visão clara da disponibilidade desses dispositivos de coleta, essa abordagem permitiu uma avaliação precisa das lacunas existentes na infraestrutura de gerenciamento de resíduos e desempenhou um papel fundamental na compreensão da eficácia das práticas de educação ambiental adotadas.

Tabela 01- Identificação de coletores e práticas de educação/comunicação ambiental

N	Setores	Presença de coletores	M. de comunicação
1	Bloco de Agroecologia	Sim	Sim
2	Bloco de Agropecuária	Sim	Não
3	Bloco Pedagógico	Sim	Não
4	Bloco de Educação Física	Sim	Não
5	Bloco de Alimentos	Sim	Não
6	Bloco de Agroindústria	Sim	Não
7	Bloco de Medicina Veterinária	Sim	Não
8	Suínocultura	Sim	Não
9	Ovinocaprinocultura	Sim	Não
10	Avicultura caipira	Não	Não
11	Avicultura tradicional	Não	Não
12	Bovinocultura	Sim	Não
13	Apiário	Não	Não
14	Fruticultura	Sim	Não
15	Galpão de mecanização Agrícola	Não	Não
16	Horto experimental	Não	Não
17	Horta	Sim	Não
18	Hospital veterinário	Sim	Não
19	Biblioteca	Sim	Não
20	Ginásio	Sim	Não
21	Campo de futebol	Não	Não
22	Quadra de areia	Não	Não
23	Alojamentos	Sim	Não
24	Refeitório	Não	Não
25	Bloco de saúde	Sim	Não
26	Padaria	Sim	Não
27	Pracinha	Não	Não
28	Lanchonete do padeiro	Sim	Não

Fonte: Elaborado pelos autores

A análise do quadro revela um panorama diversificado em relação à presença de coletores de resíduos nos diversos setores do Campus. A pesquisa revelou que a presença de coletores de resíduos sólidos não é uniforme em todos os setores. Os setores como bloco de agroecologia, bloco de agropecuária, bloco pedagógico, bloco de educação física e outros blocos ou setores que dispõem de salas de aula, contam com a presença de coletores (lixeiras e baldes), sendo um único coletor para todo tipo de resíduos sólidos, sem a presença de coletores para a coleta seletiva.

A relação entre coleta seletiva e gestão adequada dos resíduos sólidos é intrinsecamente ligada à destinação correta dos materiais recicláveis. Por sua vez, a coleta seletiva é uma estratégia prática que, quando inserida em um contexto de educação ambiental, contribui significativamente para a conscientização e ação em prol da preservação ambiental (Souza, 2013).

É importante constatar também que além da falta de coletores para coleta seletiva, é igualmente evidente a ausência de mecanismos de comunicação voltados para a conscientização ambiental nos diferentes setores. Apenas o bloco de Agroecologia demonstra ter mecanismos de comunicação destinados à sensibilização ambiental, conforme Figura 2.

Figura 2- Mensagem de Educação e Conscientização ambiental no bloco de agroecologia



Fonte: Acervo dos autores

Essa falta de abordagem é abrangente para conscientização ambiental em todos os setores do campus e representa uma lacuna significativa nas estratégias de promoção da educação ambiental e da sustentabilidade e do comprometimento da comunidade acadêmica com a adoção de práticas ambientalmente responsáveis. As práticas de educação ambiental identificadas estão além das diretrizes e melhores práticas

estabelecidas. A ausência de mecanismos permanentes de comunicação e programas de sensibilização contrapõe a importância de uma abordagem holística e abrangente da educação ambiental, está integrada ao currículo e às atividades cotidianas.

A implementação de projetos de educação ambiental em instituições de ensino tem sido um foco relevante de pesquisa. De acordo com (Sarmiento et al, 2024) projetos dessa natureza têm o potencial de criar cidadãos sensíveis e conscientes, capazes de atuar como agentes de mudança em suas comunidades e ressalta a importância de envolver alunos não apenas como receptores de informações, mas, como participantes ativos em práticas sustentáveis. Nesse sentido, a adesão mínima dos membros da comunidade acadêmica à coleta seletiva compromete a eficácia desse sistema no campus. A falta de conscientização, aliada à escassez de coletores e práticas de incentivo, contribui para o cenário de poluição e descarte inadequado de resíduos (Sorrentino et al, 2005).

O IFPB campus Sousa apresenta um ponto positivo notável ao contar com cursos de tecnologia em agroecologia e técnico em meio ambiente, essa característica intrínseca da instituição poderia ser um fator de impacto extremamente positivo para a implementação eficaz de práticas de coleta seletiva e educação ambiental.

No entanto, a crítica que surge é: por que, mesmo com cursos tão pertinentes às questões ambientais, as práticas de coleta seletiva e educação ambiental ainda são tão escassas no campus? A presença desses cursos da área ambiental deveria naturalmente se refletir em ações concretas e amplas voltadas para a conscientização ambiental e a implementação de práticas sustentáveis. A discrepância entre a existência desses cursos e a realidade das práticas atuais suscita questionamentos sobre a efetividade das abordagens educacionais e a integração das disciplinas ambientais com a realidade cotidiana do campus. Essa disparidade também levanta dúvidas sobre a colaboração entre os setores acadêmicos e administrativos na promoção de uma cultura ambientalmente responsável.

CONCLUSÃO

Com base nos dados, conclui-se que, embora o IFPB Campus Sousa possua cursos voltados para a área ambiental, a presença desses cursos não se traduziu em práticas de coleta seletiva e educação ambiental eficaz. A falta de programas contínuos de conscientização, a ausência de coletores de coleta seletiva e a falta de mecanismos de comunicação demonstram a necessidade de uma abordagem mais integrada e abrangente para promover a conscientização ambiental e o engajamento da comunidade acadêmica. Ao tomar medidas concretas nesse sentido, o campus pode contribuir para a formação de cidadãos mais responsáveis e comprometidos com a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 12 de agosto de 2024.

KUHN, N.; BOTELHO, L.L.R.; ALVES, A.A.A. A coleta seletiva à luz da pnrs nos estados brasileiros: Uma revisão sistemática integrada. RBPD- revista brasileira planejamento desenvolvimento. Curitiba, v.7, n.5, p. 646-669, Edição especial Desenvolvimento Sustentável Brasil/Cuba, out. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/werar/Downloads/Dialnet-AColetaSeletivaALuzDaPNRSNosEstadosBrasileiros-6674368%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/werar/Downloads/Dialnet-AColetaSeletivaALuzDaPNRSNosEstadosBrasileiros-6674368%20(1).pdf). Acesso em: 02 de Agosto de 2024.

RUIZ, J. B.; LEITE, E. C. R.; RUIZ, A. M. C.; AGUIAR, T. F. Educação Ambiental e os Temas Transversais. Akropolis: UNIPAR. 2005. v.13. nº 1 p, 31-38. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/akropolis/article/view/451/410>. Acesso em 02 de agosto de 2024.

SARMENTO, M. R.; ANDRADE NETO, C. A. de; SOARES, R. A. S.; MORAIS NETO, P. J. de; DINIZ FILHO, E. M.; SILVA, V. L. da R.; LIMA, J. P. de. Relato de experiência: o conceito de desenvolvimento sustentável em uma escola pública na Paraíba/PB. Revista Contemporânea, [S. l.], v. 4, n. 6, p. e4451, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N6-118. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/4451/3596>. Acesso em: 14 ago. 2024.

SORRENTINO, M; TRAJBER, R.; MENDONÇA, P.; FERRARO JÚNIOR, L. A. Educação ambiental como política pública. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 285-299, maio/ago. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/WMXKtTbHxzVcgFmRybWtKrr/?format=pdf>. Acesso em: 19 de agosto de 2024.

SOUZA, V.O.de.; LACERDA, C.C. de O.; SILVA, N.E.F.; SILVA, L. de B. Práticas ecológicas e coleta seletiva na Universidade Estadual da Paraíba. Reunir- revistas de administração, Contabilidade e Sustentabilidade. v.3, p. 83-98, 2013. Disponível em: <https://reunir.revistas.ufcg.edu.br/index.php/uacc/article/view/124/pdf>. Acesso em: 2 de setembro de 2024.

ARBORIZAÇÃO URBANA: CARACTERÍSTICAS FITOGEOGRÁFICAS E ESTRUTURAIS DAS PRAÇAS DO MUNICÍPIO DE NAZAREZINHO - PB

Biodiversidade e conservação

Jéssica Pedrosa de Lima
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa,
graduanda em Tecnologia em Agroecologia
jessicapedrosadelima77@gmail.com

Gilcean Silva Alves
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa -
Departamento de Agroecologia
gilcean.alves@ifpb.edu.br

Vera Lúcia da Rocha Silva
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
Graduanda em Tecnologia em Agroecologia
weraroccha2@gmail.com

Eliane Queiroga de Oliveira
Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa
Departamento de Agroecologia
eliane.oliveira@ifpb.edu.br

Mayria Rufino Sarmento
Universidade Federal de Campina Grande-
Campus Pombal
Mestranda em Horticultura Tropical
mayriasarmento3443@gmail.com

Wanderson Dias Sarmento
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Pombal - Mestrando em Sistemas
Agroindustriais
wandersonsarmento02@gmail.com

Resumo

A urbanização e o crescimento populacional causam diversos impactos prejudiciais ao meio ambiente e ao bem-estar dos seres vivos, a arborização urbana pode ser aplicada para minimizar esses impactos, promovendo uma relação ampla de benefícios ecológicos ao ambiente, que resultam em bem-estar e qualidade de vida a geração atual e futuras. O presente estudo teve como objetivo caracterizar a atual arborização de três praças existentes no município de Nazarezinho localizado no sertão da Paraíba, Nordeste do Brasil, onde foram realizadas visitas in loco, para identificar espécies, desenvolvimento vegetativo, injúrias, fatores fitossanitários e fitogeográficos, as variáveis identificadas e analisadas foram: nome popular, nome científico diâmetro do caule na altura do peito (DAP), altura da planta e injúrias como podas irregulares, pragas e outras irregularidades que vinhesse a chamar atenção. Diante disso foi-se em busca do histórico de projetos que atuaram em torno da arborização, tendo em vista que tais projetos implicam altamente na arborização atual do município. Com isso, pode-se concluir que existiu no ano de 2018 um trabalho de arborização através de um projeto de uma associação, onde foi realizado plantios de (*Handroanthus heptaphyllus*) e (*Handoroanthus albus*), espécies exóticas que apresentam atualmente uma boa adaptabilidade as condições edafoclimáticas e fitogeográficas da região, as praças ainda necessitam de uma maior diversidade de espécies e recomenda-se que seja realizados tratamentos culturais para que se tenha um bom crescimento vegetativo e um melhor desempenho na função da arborização.

Palavras-chave: Cidades Sustentáveis; Ecologia do Semiárido; Plantas Nativas; Paisagismo

INTRODUÇÃO

O êxodo rural é o ato de migração do campo para a cidade, seu principal motivo é a busca por melhores condições de vida, contribuindo assim com a urbanização (Alves, Souza, Marra, 2011). A urbanização do Brasil é um marco na história, que ocorreu no século XX e obteve seu ponto de pico de crescimento entre os anos de 1940 a 1980, onde a modernização do campo e a industrialização das cidades resultou em uma taxa de crescimento populacional em áreas urbanas de 26,35% para 68,86% (Santos, 2008).

O crescimento populacional das zonas urbanas no Brasil proporcionou logicamente ao crescimento dos impactos ambientais, promovendo o avanço populacional desenfreado até o ano de 2050, mediante esse avanço pode ser causadas mudanças em uma área de preservação ambiental, tal qual, referente ao desmatamento, poluições, contaminações, extração, desequilíbrios da biodiversidade entre outras problemáticas (Duarte et al., 2018). Diante do cenário, deve considerar formas de prevenção em busca de minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente e a busca por um oferecimento de melhor bem-estar, juntamente com a Política Nacional de Arborização Urbana (Paes et al., 2022).

Nesse sentido, a arborização urbana além de proporcionar uma infinidade de benefícios relacionados aos aspectos ecológicos, proporciona também ao paisagismo (Cemig, 2011). Contendo uma ligação direta com uma boa qualidade de vida, proporcionando um melhor bem-estar à população (Gonçalves et al, 2018). Contudo, pode-se concluir que a arborização urbana é fundamental para minimizar os impactos ambientais, dispendo de conforto térmico por causar a redução da temperatura, aumento da umidade relativa do ar e sua purificação, diminuição da poluição sonora, proporcionando melhor infiltração da água, servindo de abrigo para a fauna silvestre dentre outros benefícios (Embrapa, 2012).

Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas – IBF (2024), a implantação da arborização urbana deve ser feita com planejamento, um dos pontos principais é a escolha de espécies priorizando o uso de plantas nativas sendo originárias da região que são adaptadas as condições do ecossistema, ou também, uso de espécies exóticas, que são trazidas de sua região nativa para outra, mas, que apresente um bom desenvolvimento, adaptação e não apresente comportamento invasor e não utilizar espécies exóticas que tragam ameaças a habitats naturais, causando impactos ambientais principalmente a biodiversidade local, além de causar danos econômicos, sociais e culturais.

Com base nessa relação entre a arborização urbana, ecologia e bem-estar, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar de forma ampla a atual arborização do Município de Nazarezinho - Paraíba, bem como identificar as espécies presentes, seu desenvolvimento vegetativo, irregularidades, sua situação fitossanitária e fitogeográfica.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado na zona urbana do Município de Nazarezinho/PB, região Nordeste do Brasil, com área territorial de 193,203 km² localizado a 452.9km da capital João Pessoa, com 289m de altitude, sendo suas coordenadas geográficas latitude: 6° graus 54' 42" sul e longitude: 38°graus 19' 11" Oeste, predomina o Bioma caatinga e clima semiárido, a cidade dispõe de 7.203 habitantes (IBGE, 2022) e são existentes três praças onde foi realizado o trabalho (Figura 1 e 2).

Figura 1 - Localização do Município de Nazarezinho, Figura 2 – Localização das Praças.



Fonte: IBGE, (28/08/2019). Fonte: Google Earth, alterado por Lima et al, (2024) .

Foram realizadas visitas in loco para identificar cada planta, bem como para analisar crescimento vegetativo atual, danos causados a estruturas, suas características fitogeográficas e fitossanitárias. As variáveis identificadas e analisadas foram: Nome popular (Através das características fisionômicas da planta) Nome científico (Por meio do nome popular, foi realizado a comparação com catálogos botânicos) Diâmetro do caule na altura do peito (DAP) (Com uma fita métrica foi aferido o DAP das plantas na altura do peito. Observação: Algumas não possuíam DAP por serem plantas muito jovens.) Altura da planta (Com uma trena digital a laser, foi medido a altura da planta, apontando com o laser do chão até o ponto mais alto da copa da árvore.) Injúrias (Foi feita a observação para identificar injúrias, como rachaduras em piso, presença de insetos ou outras pragas que possam comprometer o bem-estar das plantas, ou alguma outra observação relevante que venha chamar atenção.)

Área de Estudo

Figura 3 - Praça João Luiz, área = 665,08m²

Figura 4 - Praça São Sebastião, área = 462,21m²

Figura 5 - Praça Abdias Pereira Dantas, área = 743,31m²



Fonte: Google Earth, alterado por Lima et al (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relato de projetos de arborização atuante e sua situação atual

O devido Município, segundo relato do ex-presidente da “Associação casa de cultura Júlia Rocha”, e membro do projeto “Nazareth verde e florida, um toque de saúde, cuidando do meio ambiente” que teve seu período vigente de 12 meses, aconteceram atividades no ano de 2018 (Ano de atuação), onde o conjunto de participantes haviam realizado, o plantio de mudas de Ipês das espécies (*Handroanthus heptaphyllus*) e (*Handoroanthus albus*), tanto nas praças, São Sebastião e na praça JoãoLuiz, como também em algumas avenidas principais (a praça Abdias Pereira Dantas não existia na época, por esse motivo não foi contemplada). Em 2018 a cidade não era pavimentada, sendo necessário em 2023 a retirada das plantas das avenidas para realizar a mesma, restando apenas as plantas das praças. (Figura 6)

Com o passar dos anos, de acordo com relatos de moradores, essas praças foram recebendo novas plantas, o devido artigo irá dispor de informações para que os membros interessados façam as comparações e atualização da arborização atual em relação à feita durante o projeto. (Figura 7) e (Figura 8).

O projeto teve um total de R\$ 23.860,00, referente a gastos com instalação e manutenção de um viveiro de mudas, bem como insumos para o plantio, oficinas de educação ambiental, material educativo, aquisição de mudas e grades de proteção. Através de divulgações, cada muda/planta era vendida por um valor X, para uma pessoa física ou empresa, onde poderiam anunciar lojas ou homenagear pessoas na grade de proteção, dessa forma, foi-se arrecadado todo o dinheiro referente a gastos, além de ajudas de instituições públicas e privadas. (Figura 9).

Os projetos sociais surgem na busca de melhorar as condições de vida com um desejo de mudar uma realidade através de ações e são fundamentais para minimizar problemas que afetam a população, com a finalidade de alcance de um objetivo específico de desenvolvimento social ou humano. Dessa maneira a criação de projetos sociais voltados ao meio ambiente traz benefícios não só as pessoas, mas também ao meio em que elas vivem, proporcionando uma melhor qualidade de vida, conforme salienta (Stephanou, 2003).

Figura 6 - Plantios nas avenidas centrais e grades



Fonte: Sebastião C. Braga, (2018).

Figura 7 - Plantio na praça João Luiz.



Fonte: Sebastião C. Braga, (2018).

Figura 8 - Plantio na praça João Luiz atualmente.



Fonte: autoria própria (2024).

Figura 9 - Grades com anúncios em novas plantas atualmente.



Fonte: autoria própria (2024).

Após analisar os relatos e registros fotográficos, foi esclarecido sobre a atuação e fatos acontecidos em torno da arborização de 2018 que de certa forma contribuiu para a arborização existente atualmente.

Segue abaixo dados da arborização atual, tabela 1 - Praça João Luiz, tabela 2 - Praça São Sebastião e tabela 3 - Praça Abdias Pereira Dantas.

Tabela 1- Praça João Luiz

Nº	Nome científico	Nome Popular	DAP	Altura	Injúrias/OBS
1	<i>Mangifera indica L.</i>	Mangueira	1,77 m	11,14 m	Cupins, Chão rachado
2	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	28 cm	3,64 m	Não
3	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	75 cm	9,96 m	Não
4	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	33 cm	4,22 m	Não
5	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	16 cm	2,90 m	Não
6	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	14 cm	2,30 m	Não
7	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	69 cm	7,66 m	Não
8	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	97 cm	9,94 m	Cortes.
9	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	88 cm	9,44 m	Não
10	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	-	78 cm	Folhas Queimadas

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 – Praça São Sebastião

Nº	Nome científico	Nome Popular	DAP	Altura	Injúrias/OBS
11	<i>Leucopyllum Frtescens</i>	Folha de prata	-	1,10 m	Não
12	<i>Leucopyllum Fræscens</i>	Folha de prata	-	1, 12 m	Não
13	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	13 cm	2,50 m	Não
14	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	15 cm	2,30 m	Não
15	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	18 cm	3,42 m	Não
16	<i>Handoroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	-	50 cm	Não
17	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	10 cm	1,91 m	Não
18	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	16 cm	2,10 m	Não
19	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	16 cm	2,30 m	Não
20	<i>Tecoma stans</i>	Ipê de jardim	11 cm	2,44 m	Não
21	<i>Gardenia jasminoides</i>	Jasmim	-	1,37 m	Não
22	<i>Handoroanthus albus</i>	Ipê Amarelo	-	70 cm	Não

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3 – Praça Abdias Pereira Dantas:

Nº	Nome científico	Nome Popular	DAP	Altura	Injúrias/OBS
23	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,60 m	Não
24	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,63 m	Não
25	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2,10 m	Não
26	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,61 m	Não
27	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,80 m	Não
28	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,53 m	Não
29	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,65 m	Não
30	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	1,70 m	Não
31	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2,05 m	Não
32	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2,07 m	Não
33	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2,11 m	Não
34	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2 30 m	Não
35	<i>Dyopsis lutescens</i>	Palmeira	-	2,32 m	Não
36	<i>Mangifera indica L.</i>	Mangueira	29 cm	3,44 m	Não
37	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	-	1,51 m	Não
38	<i>Terminalia mantaly</i>	Sete copas	16 cm	3,06 m	Não
39	<i>Mangifera indica L.</i>	Mangueira	13 cm	2,35 m	Não
40	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	23 cm	2,77 m	Não
41	<i>Terminalia mantaly</i>	Sete copas	50 cm	6,84 m	Não
42	<i>Terminalia mantaly</i>	Sete copas	37 cm	11,64 m	Não
43	<i>Terminaliaz mantaly</i>	Sete copas	21 cm	5,44 m	Não
44	<i>Mangifera indica L.</i>	Mangueira	12 cm	2,98 m	Não
45	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	-	1,84 m	Não
46	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	Primavera	18 cm	4,80 m	Não

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pontos importantes a serem levados em consideração

A praça Abdias Pereira Dantas, foi construída no final do ano de 2021, a empresa contratada para realização da construção ficou responsável pela arborização, contando com sistema de irrigação, as plantas dispõem de características paisagísticas, por serem bem jovens, não apresentam DAP em alguma delas, dispondo também de uma altura menor podendo interferir no aparecimento de injúrias.

A praça São Sebastião tem suas árvores em tamanho menor, por não receber método de irrigação, o seu crescimento pode ter sido retardado/limitado, a praça também conta com sua pintura de piso e bancos de concreto na cor branca sendo menos atrativa nas horas mais quentes do dia, que ao recebe a luz solar não passa um bom conforto térmico, pelas plantas não serem grandes, elas não proporcionam um sombreamento.

A praça João Luiz passa a ser mais atrativa, por receber um sistema de irrigação, as suas árvores já se encontram com uma altura que oferece um sombreamento e melhor conforto, a planta 1 referente a uma mangueira (*Mangifera indica* L.), é bem antiga, onde é possível encontrar injúrias referente a rachaduras em piso e cupins (Figura10), nas demais plantas da praça o que chamou atenção foi uma poda na planta 8, ipê rosa (*Handroanthusheptaphyllus*) realizada de forma incorreta (Figura11), e a planta 10, ipê rosa (*Handroanthusheptaphyllus*) que se encontra com folhas queimadas, o motivo não foi possível identificar (Figura 12), por fim o piso é em uma cor que não reflete tanto a luz solar como na praça São Sebastião.

Imagem 10 - Planta 1 – Rachaduras de piso e cupins.



Fonte: autoria Própria, (2024).

Imagem 11 - Planta 8 – Execução de podas de forma irregular.



Fonte: autoria Própria, (2024).

Imagem 12 - Planta 10 – Folhas queimadas.



Fonte: autoria Própria, (2024).

Para uma boa arborização, deve-se antes ser feito um planejamento para que sejam levados em consideração vários fatores cruciais, sendo eles, avaliar as árvores já existentes, os espaços livres para novos plantios, bem como a escolha de árvores nativas, ou exóticas resistentes e que venham a se adaptar a características edafoclimáticas da região, respeitando espaçamento e fatores técnicos como podas e métodos de irrigação, redes de energia elétrica, demandas necessárias de manutenção e a satisfação da população (CEMIG, 2011).

Todos os pontos do planejamento devem ser levados em consideração, porém, a escolha por espécies nativas é o ponto mais importante, assim como todos os biomas tem as suas particularidades, a caatinga oferece condições climáticas extremas, podendo ser um fator limitante para uma espécie exótica (EMBRAPA 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da realidade do Município, foi possível concluir que existiu um trabalho de arborização através de um projeto de uma associação, onde foi realizado o plantio de mudas de Ipês (*Handroanthusheptaphyllus*) e (*Handoroanthusalbus*), a arborização atual é feita com o uso de espécies de plantas exóticas que tem uma boa adaptabilidade ao ambiente e suas condições edafoclimáticas, bem como por sua grande maioria se tratar de plantas jovens, ainda não apresentam uma quantidade significativa de injúrias, podendo apresentar em anos futuro.

É recomendado serem realizadas podas de maneira com que o corte seja realizado em um ângulo de 45°, para que o local de corte não seja porta de entrada para pragas e doenças. É importante que seja realizado a implantação de um método de irrigação eficiente para que as plantas não sofram um estresse hídrico, mesmo sendo espécies exóticas com boa adaptabilidade elas necessitam de uma irrigação, ou que sejam cultivadas no início do período chuvoso para que a falta d'água não venha comprometer ou retardar seu crescimento vegetativo, embora houvesse um planejamento antes da arborização ser implantada, recomendaria a utilização de espécies nativas, ou até mesmo uma maior variabilidade.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.; SOUSA, G.S.; MARRA, R. Êxodo e a sua contribuição com a urbanização de 1950 a 2010. Revista de política Agrícola. n2 - 2011. Acesso em: 27/07/2024. Disponível em - file:///C:/Users/jplif/Downloads/Exodoesuacontribuicao.pdf

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Manual de Arborização. Belo Horizonte - MG, 2011. Acesso em: 01/07/2024. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/manual-arborizacao-cemig-biodiversitas.pdf>.

DUARTE, T.E.P.N.; ANGEOLETTO, F.; SILVA, F.F.; BOHRER, J.F.C.; MASSAD, L. Reflexões sobre arborização urbana: desafios a serem superados para o incremento da arborização urbana no brasil. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR). V.11, n.1, p. 327-341, 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Arborização Urbana no Semiárido: Espécies potenciais da caatinga. 1ª edição. Colombo – PR, 2012. Acesso em: 01/07/2024. Disponível em - <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/947072/1/Doc.243arborizacaourbana.pdf>

GONÇALVES, L. M.; MONTEIRO, P. H. S.; SANTOS, L. S.; MAIA, N. J. C.; ROSAL, L. F. Arborização Urbana: A Importância do seu Planejamento para a Qualidade de Vida nas Cidades. Ensaios Cienc. v. 22, n. 2, p. 128-136. 2018. Acesso em: 20/06/2024. Disponível em - file:///C:/Users/jplif/Downloads/nathaliadias,+Gerente+da+revista,+11+-+Arboriza%C3%A7%C3%A3o+Urbana+-+6026.pdf.

IBF Instituto Brasileiro de Florestas. 2024. Acesso em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/especies-nativas-e-exoticas>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Acesso em: 29/06/2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/nazarezinho/panorama>.

PAES, F.A.; ALVES, L.P.; NASCIMENTO, A.J.D.; BATISTA, M.S. Arborização urbana: reflexões sobre o processo de educação ambiental. Conjecturas, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 659–671, 2022.

SANTOS, M. A Urbanização Brasileira. 5ª edição. São Paulo: Edusp, 2008. Acesso em: 30/06/2024. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id= &oi=fnd&pg=PA31&dq=urbaniza%C3%A7%C3%A3o+brasileira&ots=qb1g>.

STEPHANOU, L.; MULLER, L.H.; CARVALHO, I. C.M. Guia para elaboração de projetos sociais. Porto Alegre: Fundação Luterana, 2003. Disponível em: <https://aplicacoes.mds.gov.br/sagirms/ferramentas/docs/guia-para-elaboracao-de-projetos-sociais.pdf>

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DE COMPOSTO FEITO COM CARÇAÇA, PENAS E VÍSCERAS DE AVES

Biodiversidade e conservação

Patricia Vieira Guelere
Discente Engenharia Agrônômica, IFSULDEMINAS
Campus Muzambinho
patyguelere@gmail.com

Claudiomir Silva Santos
Professor Orientador, Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Muzambinho
claudiomirsilvasantos@gmail.com

Generci Dias Lopes
Técnico-administrativo, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho
generci.lopes@muz.ifsuldeminas.edu.br

Resumo

A indústria avícola gera grandes quantidades de resíduos que, se descartados inadequadamente, podem causar sérios impactos ambientais, como contaminação do solo, da água e emissão de gases de efeito estufa. Diante desse cenário, a compostagem surge como uma alternativa promissora para o reaproveitamento desses materiais. Durante o processo, os resíduos avícolas foram misturados com materiais auxiliares, como esterco e cinzas, para equilibrar a relação carbono/nitrogênio e favorecer a decomposição. A temperatura, umidade e pH foram monitorados ao longo do tempo para garantir a eficiência da compostagem. Após o período de decomposição, amostras do composto final foram analisadas quanto ao conteúdo de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro), além da presença de metais pesados e patógenos. Os resultados indicaram que o composto produzido a partir de resíduos avícolas possui uma composição nutricional adequada para aplicação em solos agrícolas, com altos níveis de nutrientes essenciais. No entanto, foi necessário realizar o monitoramento rigoroso dos níveis de metais pesados para garantir a segurança do composto. O estudo conclui que a compostagem de carcaça, penas e vísceras de aves é uma solução viável e sustentável para a gestão de resíduos avícolas, promovendo benefícios ambientais e econômicos significativos.

Palavras-chave: Compostagem; Resíduos; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento da produção avícola em nível mundial tem gerado uma demanda significativa por soluções sustentáveis para o tratamento de resíduos. A indústria avícola é uma das mais

importantes do setor agropecuário, especialmente em países como o Brasil, que lidera a produção e exportação de carne de frango. No entanto, com a intensificação da produção, o volume de resíduos orgânicos gerados, como carcaças, penas e vísceras de aves, torna-se um desafio ambiental relevante. Esses resíduos, se descartados de maneira inadequada, podem causar contaminação do solo, da água e contribuir para a emissão de gases de efeito estufa (FERREIRA et al., 2019).

No entanto, essa produção em larga escala também resulta em uma quantidade significativa de resíduos, incluindo carcaças, penas e vísceras de aves. O descarte inadequado desses materiais pode causar impactos ambientais graves, como a poluição do solo e da água, a emissão de odores desagradáveis e a proliferação de patógenos (SANTOS et al., 2018).

As penas, por exemplo, são compostas principalmente por queratina, uma proteína resistente à degradação natural, o que dificulta seu manejo ambiental adequado (WU et al., 2017). Estudos demonstram que a inclusão de penas em processos de compostagem pode contribuir significativamente para a qualidade do composto, aumentando sua capacidade de fornecer nutrientes essenciais às plantas (ZHANG et al., 2018). Por outro lado, as vísceras de aves são ricas em matéria orgânica, incluindo proteínas, gorduras e outros nutrientes, que, se não forem devidamente tratados, podem contribuir para a geração de chorume e contaminação de lençóis freáticos. Da mesma forma, as carcaças que não são processadas ou eliminadas adequadamente podem liberar substâncias tóxicas durante sua decomposição (KIEPERSOL et al., 2019). As vísceras, são ricas em matéria orgânica e nutrientes, desempenham um papel fundamental no equilíbrio da relação carbono/nitrogênio (C/N) no composto, um fator crucial para a eficiência do processo de decomposição (MIRANDA et al., 2017).

Apesar desses desafios, os resíduos de carcaça, penas e vísceras de aves podem ser reaproveitados de forma sustentável por meio de processos como a compostagem e a produção de farinha de carne e ossos. Esses métodos permitem a transformação dos resíduos em produtos de valor agregado, como fertilizantes orgânicos e ingredientes para ração animal, reduzindo o impacto ambiental e promovendo a economia circular (OLIVEIRA et al., 2020). Além disso, o reaproveitamento desses materiais contribui para a diminuição do volume de resíduos enviados para aterros, prolongando sua vida útil e reduzindo a necessidade de novas áreas de descarte.

A compostagem surge como uma alternativa eficaz e sustentável para o manejo desses resíduos, promovendo sua reciclagem em produtos de valor agregado, como fertilizantes orgânicos. Durante o processo de compostagem, a matéria orgânica é decomposta por microrganismos, resultando na produção de composto, um material rico em nutrientes, que pode ser utilizado para a melhoria do solo na agricultura (LI et al., 2021). O uso de carcaça, penas e vísceras de aves na compostagem apresenta vantagens não apenas pela mitigação dos impactos ambientais, mas também pelo elevado teor de nitrogênio e outros nutrientes presentes nesses resíduos, o que pode enriquecer a qualidade do composto final (SILVA et al., 2020).

Apesar das vantagens, o uso de resíduos avícolas em compostagem exige cuidados especiais devido ao risco de contaminação microbológica, como a presença de patógenos e a emissão de odores desagradáveis. Para superar esses desafios, diferentes abordagens têm sido propostas, incluindo o controle rigoroso da temperatura durante o processo de compostagem, o que pode garantir a eliminação de microrganismos patogênicos (OLIVEIRA et al., 2022). Além disso, a escolha

adequada dos materiais complementares, como serragem ou palha, que podem auxiliar no controle da umidade e melhorar a aeração, é essencial para a obtenção de um composto de alta qualidade (GUIMARÃES et al., 2019).

Diante desse contexto, este projeto tem como objetivo analisar a composição de composto produzido a partir de carcaças, penas e vísceras de aves, avaliando sua viabilidade como fertilizante orgânico e suas características nutricionais. A pesquisa busca, ainda, identificar as melhores práticas para o processamento desses resíduos, garantindo a sustentabilidade e a segurança no uso do composto em sistemas agrícolas.

METODOLOGIA

A produção do composto foi conduzida no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Muzambinho, localizado em Muzambinho, Minas Gerais, Brasil, cujas coordenadas são altitude: 1033 metros latitude: 21° 18' 00" s longitude: 46° 30' 00" W com temperaturas médias que variam entre 20,6°C a 22,7°C e pluviometria de aproximadamente 1800 mm anualmente. A instituição cedeu todo o material para realização deste estudo, proveniente do setor da Zootecnia I.

Utilizou-se a proporção de 1 parte de penas, vísceras, tripas, fígados, moelas e pés, o qual esses resíduos são gerados dos setores no próprio Campus, para 4 partes de composto e 1 parte de cinzas. A condução do processo de compostagem foi realizada em composteira, no barracão do setor Zootecnia I, localizado no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - Campus Muzambinho, onde monitorou - se a temperatura e umidade. O material foi irrigado para ajudar a compostagem e toda água utilizada na compostagem não tinha cloro.

A proporção dos resíduos utilizados, foram misturados previamente com a ajuda de uma Betoneira de 300 litros. Essa mistura seguiu uma ordem correta de adição, sendo adicionado o esterco, seguido pelo tabaco, as cinzas e por último a água ou soro com a Betoneira ligada, para evitar a formação de grânulos grandes, o que dificultaria a compostagem. Foi feita a mistura por cerca de 10 minutos e em uma velocidade constante.

Após realizar a mistura, esse material foi levado para a composteira, com a célula no dimensionamento de 3mX3mX3m, totalizando 27m³. A irrigação é necessária nesse processo, sendo a utilizada para produção do composto o gotejamento, com água sem cloro ou soro de leite a cada 20 dias. Esse material ficou por um tempo de 8 meses para a decomposição do material, e após esse período, foi peneirado o composto e as partículas maiores são separadas e voltadas para um novo processo de compostagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se uma amostragem criteriosa do composto de tabaco, onde foram coletados 4 pontos, sendo 20 litros de cada ponto, onde foram misturados os 80 litros ao total e retirada a quantidade necessária para mandar para o laboratório. Foi utilizado um trado com adaptação de um cabo, a fim de garantir uma amostragem bem homogênea, conforme imagem abaixo.

Figura 1: Amostragem do composto de tabaco



Fonte: Arquivo pessoal.

É de grande importância a avaliação da qualidade nutricional do composto orgânico produzido com tabaco. A composição química final do composto vai depender do material utilizado. Quando o composto for rico, pode suprir a planta com diversos nutrientes, por isso a importância da análise química realizada no composto.

Os resultados da análise química do composto produzido a partir de carcaças, penas e vísceras de aves demonstraram uma composição nutricional favorável para o uso agrícola. A análise indicou que o composto apresenta um bom equilíbrio de macronutrientes, com nitrogênio (1,4%), fósforo (4%) e potássio (0,8%), o que o torna adequado para fertilização do solo. A relação carbono/nitrogênio (C/N) de 7, menor do que a recomendada para compostagem convencional (idealmente entre 20 e 30), indica que o composto tem potencial para rápida decomposição e liberação de nutrientes (MIRANDA et al., 2017). Esse fator favorece seu uso em cultivos que exigem disponibilidade imediata de nutrientes.

A amostra foi levada ao laboratório de análises químicas da Cooxupé - Cooperativa Regional dos Cafeicultores em Guaxupé LTDA., localizado na Rua Manoel Joaquim M. Gomes, 400, Vila Santa Bárbara, na cidade de Guaxupé, Minas Gerais, onde foi realizada a análise dessa mesma amostra, expressando condições reais dos nutrientes presentes, que são apresentados na Tabela a seguir:

Tabela 01: Resultado da análise da composição final do produto.

DETERMINAÇÕES	RESULTADOS	UNIDADE
UMIDADE (65°C)	7,7	%
POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (CaCl ₂)	7,3	-
NITROGÊNIO AMONÍACAL (AMOSTRA SECA 65°C)	1,4	%
P ₂ O ₅ SOL. CNA+H ₂ O (AMOSTRA SECA 65°C)	4	%
K ₂ O SOL. EM ÁGUA (AMOSTRA SECA 65°C)	0,8	%
CARBONO ORGÂNICO (AMOSTRA SECA 65°C)	9,9	%
RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO	7	-
CÁLCIO (AMOSTRA SECA 65°C)	150	G/KG
MAGNÉSIO (AMOSTRA SECA 65°C)	12	G/KG
ENXOFRE (S-SO ₄) (AMOSTRA SECA 65°C)	4	G/KG
COBRE (AMOSTRA SECA 65°C)	191	MG/KG
FERRO (AMOSTRA SECA 65°C)	16740	MG/KG
MANGANÊS (AMOSTRA SECA 65°C)	1472	MG/KG
BORO (AMOSTRA SECA 65°C)	25	MG/KG
ZINCO (AMOSTRA SECA 65°C)	473	MG/KG
P ₂ O ₅ TOTAL (AMOSTRA SECA 65°C)	46	G/KG
NITROGÊNIO AMONÍACAL (AMOSTRA ORIGINAL)	1,3	%
P ₂ O ₅ SOL. CNA+H ₂ O (AMOSTRA ORIGINAL)	3,7	%
K ₂ O SOL. EM ÁGUA (AMOSTRA ORIGINAL)	0,7	%
CARBONO ORGÂNICO (AMOSTRA ORIGINAL)	9,1	%
CÁLCIO (AMOSTRA ORIGINAL)	138	G/KG
MAGNÉSIO (AMOSTRA ORIGINAL)	11	G/KG
ENXOFRE (S-SO ₄) (AMOSTRA ORIGINAL)	4	G/KG
COBRE (AMOSTRA ORIGINAL)	176	MG/KG
FERRO (AMOSTRA ORIGINAL)	15451	MG/KG
MANGANÊS (AMOSTRA ORIGINAL)	1359	MG/KG
BORO (AMOSTRA ORIGINAL)	23	MG/KG
ZINCO (AMOSTRA ORIGINAL)	437	MG/KG
P ₂ O ₅ TOTAL (AMOSTRA ORIGINAL)	42	G/KG

Fonte: Arquivo pessoal.

Além dos macronutrientes, o composto apresentou níveis elevados de micronutrientes como ferro (16.740 mg/kg) e manganês (1.472 mg/kg), elementos essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, os altos níveis de zinco (473 mg/kg) e cobre (191 mg/kg) requerem atenção, pois podem resultar em toxicidade do solo se utilizados de forma contínua (OLIVEIRA et al., 2022).

O controle da temperatura e umidade durante o processo de compostagem foi fundamental para a degradação eficaz dos resíduos avícolas e para a redução da presença de patógenos, minimizando riscos ambientais e sanitários. A inclusão de cinzas na mistura ajudou a elevar o pH do composto (7,3), neutralizando a acidez resultante da decomposição de matéria orgânica, o que também contribuiu para a adequação do composto ao uso agrícola (GUIMARÃES et al., 2019).

Portanto, os resultados indicam que a compostagem de resíduos avícolas é uma prática viável e sustentável, fornecendo um composto rico em nutrientes que pode ser utilizado como fertilizante, desde que o manejo dos níveis de metais pesados seja monitorado adequadamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem de resíduos avícolas, incluindo carcaças, penas e vísceras de aves, mostrou-se uma alternativa viável e sustentável para o manejo desses materiais, que de outra forma representam um desafio ambiental. O composto resultante apresentou uma composição nutricional rica em macronutrientes e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, ferro e manganês, o que o torna adequado para aplicação em solos agrícolas. No entanto, o monitoramento dos níveis de metais pesados, como zinco e cobre, é necessário para garantir que o uso contínuo do composto não resulte em toxicidade para o solo.

Além disso, o controle adequado da temperatura, umidade e pH durante o processo de compostagem foi essencial para garantir a eliminação de patógenos e a formação de um composto seguro para uso agrícola. O estudo demonstrou que, com o devido monitoramento e manejo, a compostagem de resíduos avícolas pode ser uma solução eficaz, proporcionando benefícios ambientais e econômicos, ao transformar resíduos em um recurso valioso para a agricultura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao técnico administrativo, Generci Lopes, pela oportunidade de trabalhar no setor que tem sua coordenação, ao professor Claudiomir Santos, por todo o incentivo, aos alunos do grupo de estudos Gecav e ao Instituto Federal do Sul de Minas, campus Muzambinho.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, T. et al. Gestão de resíduos avícolas: desafios e soluções para uma produção sustentável. *Revista Agropecuária Sustentável*, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2019.
- LI, Z. et al. Advances in composting of organic solid wastes: Microbial mechanisms and development of technologies. *Bioresource Technology*, v. 322, p. 124537, 2021.
- GUIMARÃES, J. L. et al. Influência de diferentes materiais de cobertura na compostagem de resíduos avícolas. *Engenharia Agrícola*, v. 39, n. 4, p. 496-503, 2019.
- KIEPERSOL, R. et al. Environmental impact of poultry carcass disposal methods. *Waste Management & Research*, v. 37, n. 1, p. 45-56, 2019.
- MIRANDA, D. A. et al. Compostagem de resíduos de aves: avaliação da relação carbono/nitrogênio e dos parâmetros microbiológicos. *Ciência Rural*, v. 47, n. 1, p. 112-120, 2017.
- OLIVEIRA, P. A. et al. Compostagem de resíduos avícolas: alternativas para a reciclagem e uso sustentável. *Agricultural Waste and Resource Recovery*, v. 45, p. 321-330, 2020.
- OLIVEIRA, P. A. et al. Compostagem de resíduos avícolas: desafios para a gestão ambiental e perspectivas de uso agrícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 153-160, 2022.
- SANTOS, L. F. et al. Manejo sustentável de resíduos avícolas: uma abordagem ecológica para a indústria. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 213-225, 2018.
- SILVA, R. P. et al. Efeitos da inclusão de penas de aves na compostagem sobre a qualidade do composto final. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 3, p. 87-98, 2020.
- WU, W. et al. Feather keratin: a potent protein for biotechnological applications in waste management. *Journal of Environmental Science and Health*, v. 52, p. 540-549, 2017.
- ZHANG, L. et al. Keratin degradation and nitrogen release from chicken feathers during composting. *Waste Management*, v. 78, p. 522-530, 2018.

ECOCONNECT: UMA PLATAFORMA DIGITAL PARA O GERENCIAMENTO EFICIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS.

Análise de tecnologias e inovações voltadas para a preservação do meio ambiente

Jessica Caroline Silva do Nascimento
Aluna de Graduação do Curso de Engenharia
Ambiental e Energias Renováveis, Universidade
Federal Rural da Amazônia – Campus Capanema
jessicarolinesilva.eng@gmail.com

Marcelo Costa Santos
Universidade Federal Rural da Amazônia
Campus Capanema marcelo.santos@ufra.edu.br

Anderson Gregório Marques Soares
Universidade Federal Rural da Amazônia
Campus Capanema
andersonsoares@ufra.edu.br

Resumo

No Brasil, cada pessoa produz em média 0,9 kg de resíduos sólidos urbanos por dia, totalizando cerca de 61,5 milhões de toneladas anuais. Deste montante, aproximadamente 16% não é coletado. Menos de 40% das cidades utilizam aterros sanitários, e a maioria dos resíduos é descartada em depósitos a céu aberto, o que causa poluição e problemas de saúde. Em 2019, o Brasil foi o quarto maior produtor de resíduos plásticos, gerando 11,3 milhões de toneladas, das quais apenas 145 mil foram recicladas. A disposição inadequada desses resíduos resulta em graves impactos ambientais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pela Lei Federal 12.305/10, exige que empresas implementem a logística reversa, ou seja, a devolução dos resíduos ao ciclo produtivo. Isso não só melhora a gestão de resíduos como também proporciona benefícios econômicos e ambientais para as empresas. Estudos mostram que consumidores preferem empresas com práticas sustentáveis, refletindo uma crescente consciência ambiental. Para enfrentar esses desafios, pensa-se na plataforma digital EcoConnect, destinada a conectar empresas, cooperativas e órgãos responsáveis pela gestão de resíduos. A plataforma visa facilitar o processo de coleta e reciclagem de resíduos sólidos, oferecendo um fluxo organizado de trabalho que beneficia tanto o meio ambiente quanto a economia local. No estado do Pará, apenas 0,48% dos resíduos são reciclados, evidenciando a necessidade urgente de melhorias na gestão de resíduos. A EcoConnect pretende melhorar essa situação ao promover a economia circular e reduzir a quantidade de resíduos em lixões e aterros sanitários, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e redução da poluição.

Palavras-chave: Resíduos; Reciclagem; Logística Reversa.

INTRODUÇÃO

No Brasil, acredita-se que a produção média de resíduos sólidos urbanos por pessoa seja de 0,9 kg por dia. Isso resulta em uma produção anual de aproximadamente 61,5 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 10 milhões (16%) não são recolhidos. No que diz respeito à disposição final, menos de 40% das cidades brasileiras utilizam aterros sanitários para a disposição dos resíduos coletados. Isso revela um cenário bastante preocupante, considerando os impactos ambientais e na saúde pública causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos. A disposição final, considerada um dos principais aspectos da gestão de resíduos, ocorre, em sua maioria, em depósitos a céu aberto, sendo esta a opção menos favorável (ABRELPE, 2007).

A disposição inadequada de resíduos é uma prática comum. Muitos desses resíduos nem chegam a ser coletados e isso tem levado ao aumento da poluição e contaminação do ar, água e solo, além de contribuir para a disseminação de doenças transmitidas por vetores, afetando a qualidade dos recursos ambientais. A questão dos resíduos sólidos, do meio ambiente e da saúde é abordada de maneira abrangente, atual e integrada, demonstrando que a discussão sobre resíduos sólidos vai além de uma simples perspectiva de engenharia sanitária. Trata-se de uma abordagem inovadora e multidisciplinar que visa resolver esses problemas (Sisino, 2000).

De acordo com o World Wildlife Fund (WWF), em 2019, o Brasil destacou-se como o quarto maior produtor de resíduos plásticos do mundo, ficando apenas atrás dos EUA, China e Índia. Nesse mesmo ano, o país gerou aproximadamente 11,3 milhões de toneladas de plástico, porém apenas 145 mil toneladas foram recicladas. O Brasil ainda enfrenta grandes desafios em relação à gestão adequada desses resíduos. Outro dado importante é que cerca de 2,4 milhões de toneladas de plástico são descartadas de forma incorreta.

É importante enfatizar que o processo de reciclagem envolve vários participantes, incluindo o coletor ou a cooperativa, o intermediário e a indústria. Cada um desempenha um papel crucial neste processo. O coletor, ao se organizar em cooperativas e associações, promove uma coleta de alta qualidade e sai da marginalidade. O intermediário tem a responsabilidade de respeitar e apoiar os coletores, remunerando-os de forma justa e reconhecendo sua importância para o sucesso do empreendimento. A indústria, por sua vez, deve desenvolver políticas socioambientais, investindo no processo de reciclagem como um todo, incluindo o desenvolvimento de programas de educação socioambiental, utilizando materiais recicláveis em seus processos de produção em substituição aos materiais virgens, produzindo embalagens e produtos que possam ser reutilizados ou facilmente reciclados, atribuindo valores ambientais ao seu produto. Isso completa o ciclo da reciclagem, beneficiando a todos (Gonçalves, 2006).

A aprovação e regulamentação da Lei Federal 12.305/10, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece a obrigatoriedade da logística reversa nas empresas que produzem resíduo. Tal legislação foi regulamentada pelo Decreto Federal 10.936/12. Sendo assim, os empreendimentos que geram resíduos sólidos agora têm uma responsabilidade compartilhada, uma vez que perceberam a necessidade e a urgência de implementar práticas de logística reversa (Fialho et al., 2020).

A logística reversa, apesar de compor uma pequena fração do total gerenciado pela logística direta, possui um papel crucial. Ela não apenas gera benefícios financeiros,

mas também benefícios ambientais. Indústrias e empresas comerciais produzem materiais residuais de seus processos, além de itens considerados inúteis e subprodutos da fabricação. A gestão desses resíduos por meio da logística reversa é ainda mais vital, pois eles representam uma quantidade significativa e podem ser uma fonte de ganho econômico para as empresas (Guarnieri, 2011). Sendo assim, ações voltadas para a logística reversa têm gerado benefícios significativos para as empresas. A economia resultante do uso de embalagens reutilizáveis e da reciclagem de materiais na produção tem impulsionado cada vez mais a adoção de práticas de fluxo reverso (Lacerda, 2002).

Segundo Testoni et al. (2020), que focou em mapear o comportamento pós-consumo e a conscientização ambiental dos consumidores brasileiros através da aplicação de questionários não probabilísticos e por acessibilidade, revelou que os consumidores demonstram uma inclinação crescente para as organizações que manifestam preocupação com o descarte adequado e a destinação final das embalagens que geram. Essa prática não apenas reflete a consciência ambiental da empresa, mas também contribui para a fidelização dos clientes. Portanto, os consumidores que responderam à pesquisa deixaram claro que, cada vez mais, buscam estabelecer relações comerciais com empresas que adotam práticas sustentáveis.

Assim, observa-se que a logística reversa contribui significativamente para a melhoria da imagem e organização das empresas, além de promover práticas mais sustentáveis. Atualmente, os consumidores estão cada vez mais atentos à sustentabilidade (Fialho et al., 2022), buscando informações sobre o processo de produção de mercadorias, o impacto ambiental envolvido e o destino final desses produtos após o descarte. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de plataforma digital voltada para o gerenciamento de resíduos sólidos recicláveis. Esta plataforma pretende estabelecer uma conexão eficaz entre empresas, a comunidade e os órgãos responsáveis, facilitando a logística reversa e promovendo o descarte adequado de resíduos, em alinhamento com práticas ambientais responsáveis.

METODOLOGIA

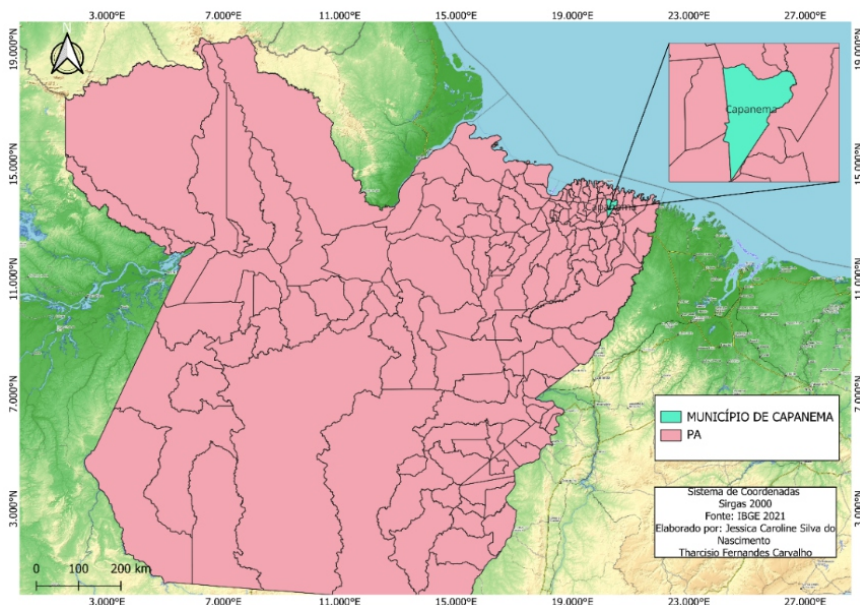
A área de estudo corresponde ao município de Capanema (Figura 1), situado no estado do Pará, na região Norte do Brasil. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Capanema está localizado a aproximadamente 1,570° S de latitude e 47,830° W de longitude. O município apresenta uma população estimada em 70.394 mil habitantes e uma área territorial de 621,483km² (IBGE, 2022).

O estudo em questão é caracterizado por uma abordagem exploratória e descritiva. A fase exploratória visa esclarecer os requisitos e objetivos do projeto, utilizando plataformas online como Google Scholar, sites especializados e literatura relevante. A metodologia de desenvolvimento da plataforma será fundamentada nos princípios da engenharia de software, conforme descrito por Pressman e Maxim (2021), assegurando a qualidade e a eficácia do processo.

Para o desenvolvimento do protótipo da plataforma, será adotada uma metodologia híbrida que combina práticas do Scrum e do Kanban. O Scrum, um modelo de

gerenciamento de projetos que possibilita o desenvolvimento de software de maneira iterativa e incremental (Schwaber, 1997), será utilizado para organizar o trabalho em sprints.

Figura 1: Mapa de localização do Município de Capanema – PA.



Fonte: Autores, 2024

Cada sprint será um período definido para a realização de atividades específicas, incluindo a criação de wireframes e layouts. Durante essas sprints, serão realizadas reuniões diárias para monitorar o progresso, identificar obstáculos e ajustar o plano conforme necessário.

Paralelamente, a metodologia Kanban será empregada como um sistema visual para gerenciar o fluxo de trabalho. As tarefas serão representadas por cartões em um quadro Kanban, permitindo uma visualização clara do status de cada atividade e facilitando a identificação de gargalos e a alocação eficiente de recursos (Anderson, 2010). O quadro Kanban será estruturado para refletir as etapas do desenvolvimento do protótipo, como "Backlog", "Em andamento" e "Concluído". Limites de trabalho em progresso (WIP) serão definidos para cada etapa, promovendo um fluxo de trabalho eficiente e a conclusão pontual das atividades.

Essa combinação de Scrum e Kanban proporcionará uma gestão eficaz do desenvolvimento do protótipo, garantindo que os wireframes e layouts sejam desenvolvidos de acordo com as necessidades e requisitos identificados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados do Instituto de Água e Saneamento (IAS) revelam que, embora aproximadamente 79,72% da população de Capanema tenha acesso ao serviço de coleta de resíduos, a sustentabilidade desses serviços ainda está longe de ser alcançada. A realidade de muitos municípios paraenses,

incluindo Capanema, destaca um panorama desafiador na gestão de resíduos, o qual exige uma análise mais profunda e estratégias eficazes para enfrentar as lacunas existentes.

A situação no estado do Pará é igualmente preocupante. Em 2019, conforme dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), o Pará gerou 1.472.084 toneladas de lixo. No entanto, apenas 0,48% desses resíduos foram reciclados, o que está significativamente abaixo da média nacional.

A Figura 2, que ilustra o lixão de Capanema-PA, oferece um retrato alarmante da poluição e da contaminação ambiental resultantes do manejo inadequado dos resíduos. A imagem evidencia as consequências diretas do consumo desenfreado e a insuficiência dos sistemas de gestão de resíduos atuais. Esta situação não só compromete a saúde ambiental, mas também a saúde das comunidades locais, sublinhando a urgência de adotar práticas sustentáveis para o manejo de resíduos sólidos.

Portanto, a análise das condições atuais aponta para a necessidade urgente de implementar estratégias integradas e eficazes para a gestão de resíduos sólidos em Capanema e em todo o estado do Pará. Medidas que incluam a ampliação da coleta seletiva, a promoção da reciclagem e a melhoria das infraestruturas de gestão de resíduos são essenciais para enfrentar o desafio e promover um futuro mais sustentável para a região.

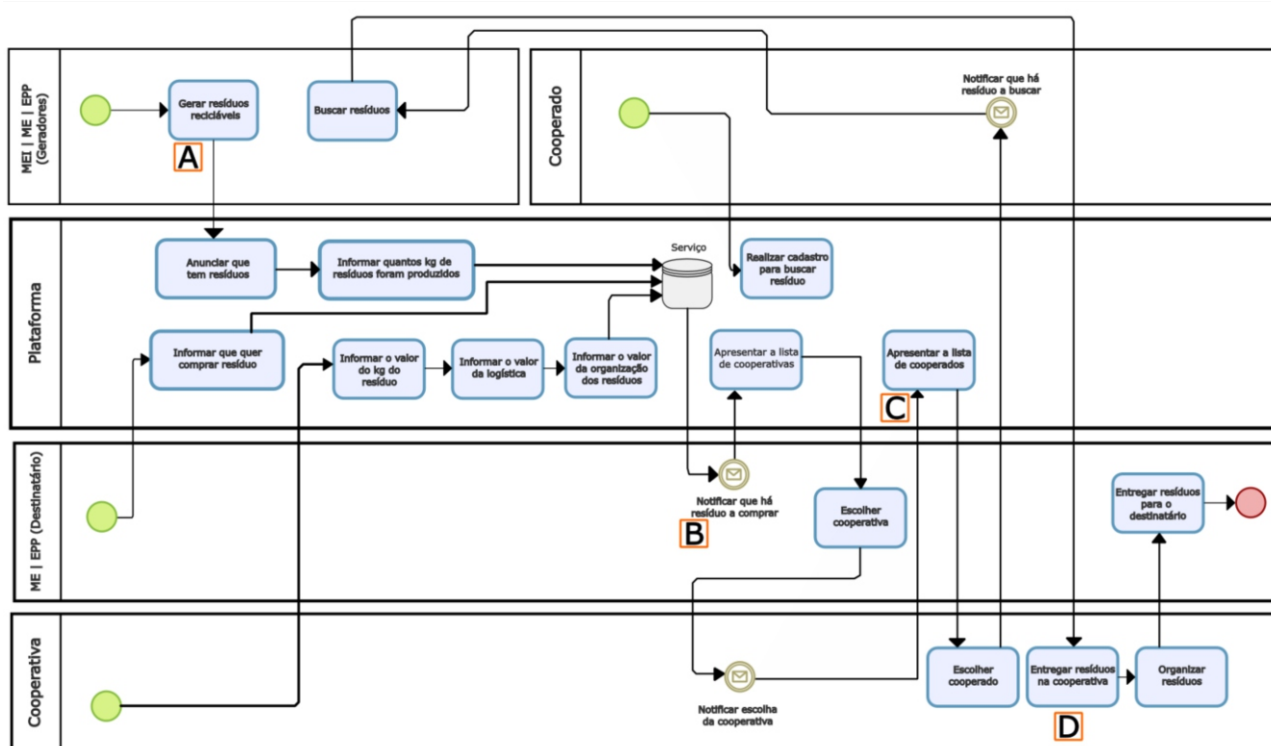
Figura 2: Um cenário de poluição e contaminação ambiental no lixão de Capanema.



Fonte: Autores, 2024.

O EcoConnect preenche uma lacuna significativa no mercado atual ao oferecer uma solução que auxilia as empresas no cumprimento de suas obrigações regulatórias, ao mesmo tempo que promove a economia circular. A plataforma visa contribuir diretamente para a redução da quantidade de resíduos destinados a lixões e aterros sanitários, incentivando práticas de reutilização e reciclagem que beneficiam tanto o meio ambiente quanto a sociedade.

Figura 3: Fluxograma da Plataforma EcoConnect.



Fonte: Autores, 2024.

O funcionamento da plataforma segue quatro etapas distintas. Na Etapa A, as empresas (geradoras) interessadas em ter seus resíduos coletados se registrarão na plataforma, informando a plataforma a quantidade de resíduos disponíveis para descarte. Na Etapa B, o aplicativo identifica as empresas (destinatários) registrados na plataforma e as sinaliza que tem resíduos disponíveis para aquisição. Após a empresa destinatária aceitar esses resíduos para a compra, a plataforma exibirá uma lista das cooperativas registradas para a empresa (destinatário) escolher, e a cooperativa selecionada receberá uma mensagem de que foi escolhida.

Na Etapa C, o aplicativo exibe uma lista dos cooperados que podem ser escolhidos pela cooperativa para coleta e o cooperado selecionado recebe uma notificação no aplicativo. Por fim, na Etapa D, o cooperado coleta os resíduos da empresa geradora e os leva até a cooperativa. Nesta etapa, os resíduos são organizados e enviados para o destinatário. No final de todo o processo, a empresa pagará à cooperativa o valor que foi combinado no início.

Conforme apresentado no Quadro 2, a plataforma demonstra benefícios significativos, tanto ambientais quanto sociais. A gestão eficaz de resíduos sólidos, particularmente por meio da reciclagem, desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos naturais. Por exemplo, a reciclagem de papel pode minimizar a necessidade de derrubar árvores, enquanto a reciclagem de metais pode diminuir a demanda por mineração, reduzindo assim a extração de novas matérias-primas. Isso não apenas preserva os recursos naturais, mas também diminui a poluição e a degradação ambiental.

Quadro 2: Benefícios Ambientais e Sociais do Gerenciamento de Resíduos Sólidos através da Plataforma

Benefícios Ambientais	Benefícios Sociais
Conservação dos Recursos Naturais	Inclusão Social
Conservação de Energia	Aumento da Responsabilidade Corporativa
Redução da Poluição da água e solo	Criação de Emprego
Redução da Extração de Matérias-Primas	Redução da Pobreza
Redução do Espaço em Aterros Sanitários	Melhoria da qualidade de Vida

Fonte: Autores, 2024.

Além disso, o gerenciamento de resíduos eficiente pode resultar em conservação de energia, pois geralmente requer menos energia para processar materiais reciclados do que para produzir novos produtos a partir de matérias-primas. No Brasil, a produção de alumínio reciclado consome 95% menos energia do que a produção de alumínio a partir do minério de bauxita (Ferreira et al., 2014).

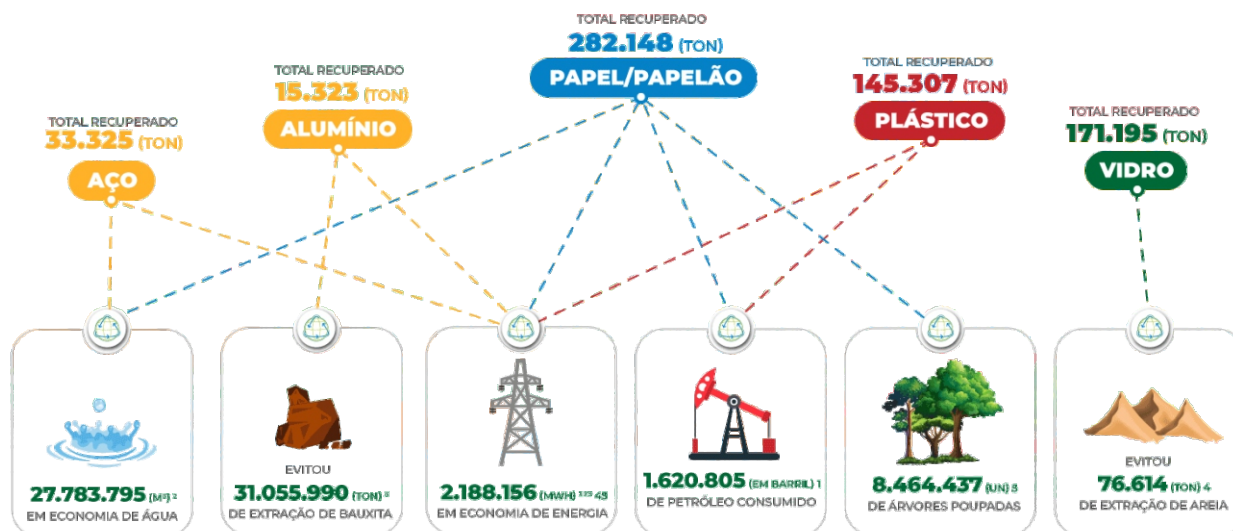
Adicionalmente, o adequado gerenciamento de resíduos sólidos, auxiliado pela plataforma, pode prevenir a contaminação de corpos hídricos, evitando a poluição de rios e lençóis freáticos. A reciclagem pode diminuir a quantidade de resíduos que acabam em aterros sanitários. Isso não apenas preserva o espaço do aterro, mas também reduz a produção de gases de efeito estufa e lixiviados tóxicos associados aos aterros.

Ainda referindo-se ao Quadro 2, é possível observar os benefícios sociais que a plataforma proporcionará, desempenhando um papel crucial na promoção da inclusão social. Por exemplo, o incentivo à criação de cooperativas de resíduos proporciona oportunidades de emprego e renda para grupos marginalizados. Uma análise focada em uma cooperativa que lida com materiais recicláveis mostrou que cerca de 12% dos impactos totais são representados pelos benefícios gerados pela cooperativa. Cerca de 60% desses impactos positivos estão relacionados à melhoria da qualidade de vida e ao progresso na posição social dos membros da cooperativa, que estão diretamente ligados à geração de empregos e ao aumento da renda (Silva et al., 2013).

Portanto, ao criar empregos e promover a inclusão social, a plataforma contribuirá para a redução da pobreza, levando a uma melhoria na qualidade de vida de várias maneiras. Por exemplo, reduzirá a exposição a substâncias perigosas, melhorar a estética e a limpeza das comunidades e contribuir para a saúde e o bem-estar geral. Em resumo, a plataforma trará uma série de benefícios ambientais e sociais, desde a conservação de recursos naturais até a criação de empregos. Além disso, pode contribuir para a sustentabilidade a longo prazo de nossas comunidades e do planeta como um todo.

De acordo com o ATLAS BRASILEIRO DA RECICLAGEM, que disponibilizou um infográfico ecológico da reciclagem, ver Figura 3, esses são os impactos que a reciclagem causa quando falamos na economia de recursos naturais.

Figura 4: Os indicadores-chave de desempenho que têm um impacto direto na conservação de recursos naturais.



Fonte: Atlasreciclagem.org.br.

Dados retirados do ATLAS BRASILEIRO DE RECICLAGEM, exibidos na Tabela 1, mostram toneladas de resíduos reciclados no ano de 2022 no estado do Pará, por 29 cooperativas e 1017 cooperados, entre empreendimentos e associações. Isso evidencia que a reciclagem pode ser uma fonte lucrativa de renda, uma vez que materiais recicláveis, como plástico, papel, metal e vidro, podem ser vendidos, gerando uma fonte de receita.

Tabela 1: Números em Toneladas dos resíduos reciclados no Pará em 2022.

Parâmetros Avaliados	Toneladas	Valor/1kg	Total
Quantidade anual de Plástico	13.168,58	R\$ 0,50	R\$ 6.584,29
Quantidade anual de Metal	12.953,00	R\$ 0,50	R\$ 6.476,50
Quantidade anual de Papel/Papelão	15.005,84	R\$ 0,50	R\$ 7.502,92
Quantidade anual de Vidro	1.327,70	R\$ 0,50	R\$ 663,85

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da história, a humanidade fez uso dos recursos naturais do planeta e produziu resíduos com pouca preocupação. Havia uma crença de que os recursos eram inesgotáveis e que a natureza absorveria sem problemas os resíduos descartados, com a abordagem predominante sendo “diluir e dispersar”. No entanto, com o passar do tempo, a escassez de recursos, a degradação ambiental visível e a crescente demanda de autoridades reguladoras provocaram uma mudança na atitude das empresas (Milan; Grazziotin, 2008).

A plataforma EcoConnect representa uma abordagem estratégica que engloba considerações ambientais, sociais e econômicas. Ela reconhece o valor econômico inerente aos resíduos recicláveis, transformando-os de um problema em uma oportunidade. Ao facilitar a destinação adequada dos resíduos sólidos recicláveis, a plataforma contribui para a redução da poluição e da degradação ambiental, o que é de suma importância, considerando que a gestão inadequada dos resíduos pode resultar em problemas como a contaminação do solo e da água. Além disso, ao promover a reutilização e a reciclagem dos resíduos, a plataforma auxiliará na conservação dos recursos naturais e na redução da quantidade de resíduos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação brasileira das empresas de limpeza pública e resíduos especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2007.

ÁGUA e saneamento. Municípios e Saneamento: Capanema. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/capanema>.

ANDERSON, D. J. Kanban: successful evolutionary change for your technology business. [S.l.]: Blue Hole Press, 2010.

FERREIRA, A. C. M. B. et al. Reciclagem de alumínio e estimativa de poupança de energia no Brasil. Revista Eletrônica de Energia, v. 4, n. 1, 2014.

FIALHO, A. V. et al. A influência da logística reversa da empresa ecooper na coleta de plástico e o impacto na preservação do meio ambiente na região de mauá. 2022.

GONÇALVES, C. W. P. A Globalização da Natureza e a Natureza da Globalização. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

GUARNIERI, P. Logística Reversa: em busca do equilíbrio econômico e ambiental. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2022.

INFOGRÁFICO ecológico da reciclagem. Disponível em: <https://atlasbrasileiro.dareciclagem.ancat.org.br/>.

LACERDA, L. Logística Reversa: Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD, 2002.

MILAN, G. S.; GRAZZIOTIN, D. B. A implantação de técnicas de produção mais limpa em uma empresa do setor plástico da serra gaúcha. XI SIMPOI-Simpósio de Administração da Produção, Operações e Logística Internacional. FGV, SP, 2008.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. Engenharia de software-9. 9ª. ed. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2021.

SCHWABER, K. Scrum development process. Sutherland, J., Casanave, C., Miller, J., Patel, P., Hollowell, G. (eds) Business Object Design and Implementation, Austin, Texas., 16 Springer London 1997. 117-134.

SILVA, M. N.; MACHADO, C. S. O.; RIZK, M. C. Avaliação ambiental em uma cooperativa de materiais recicláveis. Encontro de ensino, pesquisa e extensão, Presidente Prudente, v. 5, p. 182-187, 2013.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. p. 138-138, 2000.

TESTONI, T.; GUARNIERI, P.; FILIPPI, A. C. G. Fidelização de clientes por meio da logística reversa: Um estudo com consumidores de produtos de beleza. Revista de Administração de Roraima-RARR, v. 10, 2020.

EFEITO DA TEMPERATURA DE PIRÓLISE SOBRE A ESTABILIDADE DE BIOCARVÃO PREPARADO A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tecnologia Ambiental

Nathalia Eugênia Silva

Mestranda em Ciências Ambientais – PPGCIAMB,
Universidade do Estado de Minas Gerais,
Programa de Pós-graduação em Ciências
Ambientais
nathalia.1095854@discente.uemg.br

Osania Emerenciano Ferreira

Prof^a. Dr^a. Universidade do Estado de Minas Gerais
Unidade Acadêmica de Frutal - Uemg
osania.ferreira@uemg.br

Alan Rodrigues Teixeira Machado

Prof. Dr. Universidade do Estado de Minas Gerais
Unidade Acadêmica de João Monlevade - Uemg,
alan.machado@uemg.br

Resumo

O biocarvão é uma tecnologia promissora para o sequestro de carbono no solo, sendo importante para o combate às mudanças climáticas e seus impactos. Portanto, compreender a estabilidade do biocarvão é fundamental para o sucesso de sua utilização. Por isso, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da temperatura de pirólise na estabilidade do biocarvão obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Foram preparadas amostras pirolisadas nas temperaturas de 300 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C. Os teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF) foram utilizados para calcular o indicador de estabilidade (MV/CF). Além disso, as curvas termogravimétricas das amostras foram obtidas. De modo geral, os resultados mostraram que, com o aumento da temperatura, diminuiu o valor da razão MV/CF. No entanto, não foram observadas diferenças significativas para as amostras pirolisadas na faixa de temperatura de 400 a 1000 °C.

Palavras-chave: sequestro de carbono, biochar, biomassa.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com estimativa de colheita de 598 milhões de toneladas na safra de 2022/2023 (CONAB, 2022). A maioria desta quantidade é para a produção de açúcar e etanol. Isso também resulta na geração de subprodutos e resíduos, por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar (BCA). Estima-se que, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, sejam produzidos entre 260 e 280 kg de BCA (JOPPERT et al., 2017).

O BCA é usado para produzir calor e gerar energia elétrica (XU et al., 2019; DOMBINOV et al., 2022). Contudo, há um excedente que poderia ser aplicado

como insumo para a elaboração de produtos de alto valor agregado (SEIXAS et al., 2016; MARTINEZ-HERNANDEZ et al., 2018), como o biocarvão (IWUOZOR et al., 2022), furfural (CATRINCK et al., 2020), bio-óleo (FARDHYANTI et al., 2022) e celulose (MAHMUD & ANANNYA, 2021).

O biocarvão é um material carbonáceo obtido a partir da pirólise da biomassa na ausência ou em condições limitadas de oxigênio (SRI SHALINI et al., 2020). Ele possui grande porosidade, o que o torna capaz de adsorver e reter nutrientes, melhorando, assim, os parâmetros de fertilidade do solo (MAROUŠEK et al., 2016). A sua aplicação como condicionador de solo é uma das principais tecnologias para mitigação de gases de efeito estufa. De fato, o uso do biocarvão, aumenta o estoque de carbono no solo, uma vez que esse material tem alto teor de carbono recalcitrante, o que resulta em um material mais estável e resistente ao ataque microbiano.

A estabilidade do carbono do biocarvão é elevada em comparação com outras fontes de C, o que se deve à sua resistência à decomposição biótica e abiótica (ZHANG et al., 2022). No entanto, essa estabilidade é dependente das condições de pirólise e da matéria-prima. Em geral, o teor de C do biocarvão aumenta à medida que a temperatura de pirólise aumenta (BABU et al., 2023). Contudo, ainda há poucas informações sobre o efeito da temperatura nas propriedades físico-químicas do biocarvão feito do BCA (IWUOZOR et al., 2022). Essa lacuna de conhecimento deve ser explorada para melhor aproveitamento desse material.

Diante do exposto, esse trabalho tem por objetivo produzir e caracterizar o biocarvão a partir do BCA, bem como avaliar o efeito da temperatura de pirólise sobre a sua estabilidade.

METODOLOGIA

O BCA foi coletado em uma cachaçaria localizada no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. O bagaço foi colocado para secar à temperatura ambiente. Em seguida, o produto foi pulverizado num Triturador Forrageiro e passado por uma peneira com abertura de 3 mm.

A produção do biocarvão foi realizada seguindo a metodologia proposta por Albalasmeh et al. (2020). Para tanto, a pirólise foi realizada em forno tipo mufla (em triplicata) com cadinhos contendo o BCA e tampados para limitar a presença de oxigênio, em temperaturas de 300, 400, 600, 800 e 1000 °C, por 90 min. As amostras obtidas foram codificadas como BBM300, BBM400, BBM600, BBM800 e BBM1000, respectivamente. A composição química imediata foi obtida conforme procedimentos descritos por Figueiredo et al. (2018), para determinação do indicador de estabilidade do biocarvão no solo por meio da razão entre os teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade usando o programa Sisvar (FERREIRA, 2019).

Para completar a caracterização das amostras de biocarvão a estabilidade térmica das amostras foi avaliada em analisador termogravimétrico (STA 7300, Hitachi). As análises foram realizadas entre 25 a 1000 °C, a 10 °C min⁻¹, sob atmosfera de nitrogênio e amostras com massas de, aproximadamente, 10 mg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A razão entre os teores de materiais voláteis/carbono fixo (MV/CF) tem sido usada como indicador da estabilidade do biocarvão em solos. É amplamente reconhecido que biocarvão com uma razão MV/CF entre 0,5 e 1,0 apresenta uma elevada estabilidade em solos (NOVAK & BUSSCHER, 2013; BAKSHI et al., 2016; NGUYEN et al., 2018; ZHANG et al., 2022). Neste trabalho, observou-se que esse indicador é influenciado pela temperatura de pirólise (Tabela 1). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre as amostras preparadas nas temperaturas de 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C. Além disso, com exceção do biocarvão preparado a 300 °C, que apresentou MV/CF superior a 1,0, as outras amostras podem ter períodos de residência longos e serem adequadas para o sequestro de carbono (NGUYEN et al., 2018).

Tabela 1. Relação entre as razões de materiais voláteis/carbono fixo (MV/CF) para biocarvões preparados a partir do bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes temperaturas de pirólise.

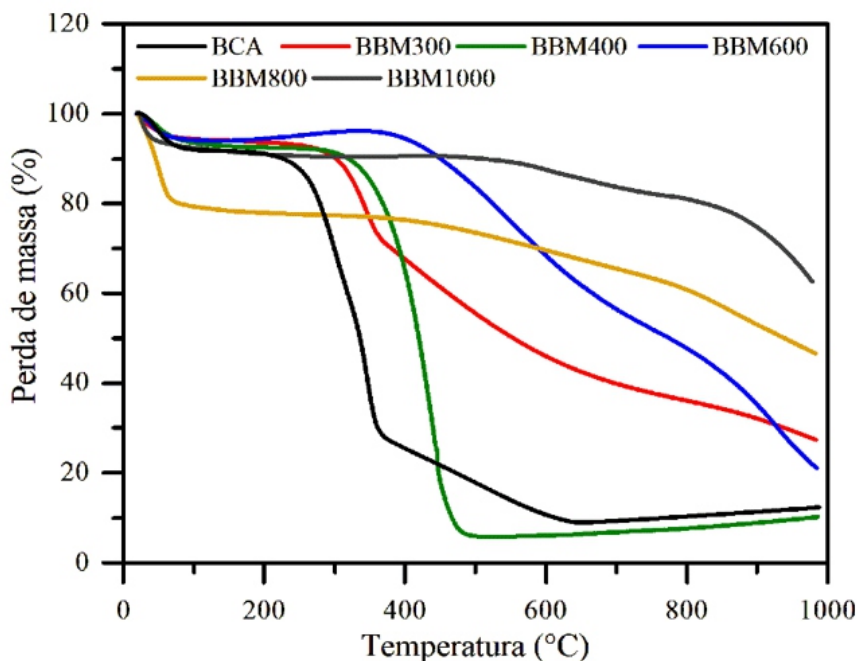
A mostra	MV/CF*
BCA	4,48 c
BBM300	1,50 b
BBM400	0,57 a
BBM600	0,38 a
BBM800	0,34 a
BBM1000	0,41 a

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Conforme apresentado acima, é evidente que existem diferenças estruturais e na composição das amostras de biocarvão. Isso porque durante o processo de pirólise, a biomassa lignocelulósica (como o BCA) é decomposta por meio de aquecimento, geralmente em quatro etapas. O primeiro estágio ocorre até 150 °C e se caracteriza pela perda de água adsorvida. No segundo estágio, que varia entre 230 °C e 260 °C, há a decomposição da hemicelulose e a liberação de gases (e.g CO e CO₂) e líquidos (e.g. CH₃COOH e CH₃OH). Na faixa de temperatura entre 240 °C e 400 °C, há uma significativa perda de massa que decorre da decomposição da celulose e do início da degradação da lignina.

No quarto estágio, a lignina presente decompõe-se em temperaturas superiores a 400 °C. De fato, como é possível observar na curva de decomposição térmica do BCA (Figura 1), houve uma desidratação da biomassa, resultando numa perda de massa de aproximadamente 7%. No entanto, não ficou claro o limite entre o segundo e terceiro estágio, sendo registrada redução da massa de aproximadamente 68 % até 400 °C, indicando a decomposição da hemicelulose e da celulose. Além disso, a curva revela perda de massa de cerca de 14% entre 400 °C e 600 °C, sugerindo a degradação total da lignina.

Figura 1. Curvas termogravimétricas para o bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e amostras de biocarvão preparadas a partir dessa biomassa na temperatura de pirólise de 300 °C (BBM300), 400 °C (BBM400), 600 °C (BBM600), 800 °C (BBM800) e 1000 °C (BBM1000).



A estabilidade do biocarvão também pode ser explorada por meio do estudo da perda de massa, devido a eventos térmicos que ocorrem em temperaturas abaixo de 400

°C. Essa perda é atribuída a compostos orgânicos menos recalcitrantes, enquanto as perdas de massas acima deste valor são atribuídas aos compostos mais recalcitrantes. De fato, as curvas termogravimétricas das amostras de biocarvão mostraram que esses materiais são mais estáveis que o BCA (Figura 1). Outra observação importante foi o aumento da estabilidade das amostras de biocarvão com o aumento da temperatura de pirólise (Figura 1).

CONCLUSÕES

As propriedades do biocarvão são influenciadas pela temperatura de pirólise. No entanto, neste estudo, não foram observadas diferenças significativas no indicador de estabilidade (MV/CF) do biocarvão no solo para amostras pirolisadas na faixa de temperatura entre 400 e 1000 °C.

AGRADECIMENTOS

À Fapemig, edital 01/2021 (APQ-02349-21) e à Uemg pelo apoio “Pesquisador Produtividade da UEMG – PQ/UEMG”.

REFERÊNCIAS

ALBALASMEH, A.; GHARAIBEH, M. A.; MOHAWESH, O.; ALAJLOUNI, M.; QUZAIH, M.; MASAD, M.; EL HANANDEH, A. Characterization and Artificial Neural Networks Modelling of methylene blue adsorption of biochar derived from agricultural residues: Effect of biomass type, pyrolysis temperature, particle size. *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 24, no. 11, p. 811–823, Nov. 2020.

BABU, S.; SINGH, R.; KUMAR, S.; RATHORE, S. S.; YADAV, D.; YADAV, S. K.; YADAV, V.; ANSARI, M. A.; DAS, A.; RAJANNA, G. A.; WANI, O. A.; RAJ, R.; YADAV, D. K.; SINGH, V. K. Biochar implications in cleaner agricultural production and environmental sustainability. *Environmental Science: Advances*, 2023.

BAKSHI, S.; ALLER, D. M.; LAIRD, D. A.; CHINTALA, R. Comparison of the Physical and Chemical Properties of Laboratory and Field-Aged Biochars. *Journal of Environmental Quality*, vol. 45, no. 5, p. 1627–1634, Sep. 2016.

CATRINCK, M. N.; BARBOSA, P. S.; FILHO, H. R. O.; MONTEIRO, R. S.; BARBOSA, M. H. P.; RIBAS, R. M.; TEÓFILO, R. F. One-step process to produce furfural from sugarcane bagasse over niobium-based solid acid catalysts in a water medium. *Fuel Processing Technology*, vol. 207, p. 106482, Oct. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4874-producao-de-cana-de-acucar-cresce-4-4-e-pode-chegar-a-598-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2022.

DOMBINOV, V.; HERZEL, H.; MEILLER, M.; MÜLLER, F.; WILLBOLD, S.; ZANG, J. W.; DA FONSECA-ZANG, W. A.; ADAM, C.; KLOSE, H.; POORTER, H.; JABLONOWSKI, N. D.; SCHREY, S. D. Sugarcane bagasse ash as fertilizer for soybeans: Effects of added residues on ash composition, mineralogy, phosphorus extractability and plant availability. *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, 8 Dec. 2022.

FARDHYANTI, D. S.; MEGAWATI; CHAFIDZ, A.; PRASETIAWAN, H.; RAHARJO, P. T.; HABIBAH, U.; ABASAEED, A. E. Production of bio-oil from sugarcane bagasse by fast pyrolysis and removal of phenolic compounds. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 23 Mar. 2022. DOI 10.1007/s13399-022-02527-9. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-022-02527-9>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, vol. 37, no. 4, p. 529–535, 20 Dec. 2019.

FIGUEIREDO, M. E. O.; JÚNIOR, D. L.; PEREIRA, A. K. S.; CARNEIRO, A. de C. O.; SILVA, C. M. S. da. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, vol. 28, no. 1, p. 420–431, 2 Apr. 2018.

IWUOZOR, K. O.; CHIZITERE EMENIKE, E.; IGHALO, J. O.; OMOARUKHE, F. O.; OMUKU, P. E.; GEORGE ADENIYI, A. A Review on the thermochemical conversion of sugarcane bagasse into biochar. *Cleaner Materials*, vol. 6, p. 100162, Dec. 2022.

JOPPERT, C. L.; DOS SANTOS, M. M.; COSTA, H. K. M.; DOS SANTOS, E. M.; SIMÕES MOREIRA, J. R. Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants. *Biomass and Bioenergy*, vol. 107, p. 63–73, Dec. 2017.

MAHMUD, Md. A.; ANANNYA, F. R. Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, vol. 7, no. 8, p. e07771, Aug. 2021.

MAROUŠEK, J.; VOCHOZKA, M.; PLACHÝ, J.; ŽÁK, J. Glory and misery of biochar. *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 19, no. 2, p. 311–317, 28 Sep. 2016.

MARTINEZ-HERNANDEZ, E.; AMEZCUA-ALLIERI, M. A.; SADHUKHAN, J.; ANELL, J. A. Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production. *Sugarcane - Technology and Research*, 16 May 2018.

NGUYEN, L. X.; DO, P. T. M.; NGUYEN, C. H.; KOSE, R.; OKAYAMA, T.; PHAM, T. N.; NGUYEN, P. D.; MIYANISHI, T. Properties of Biochars Prepared from Local Biomass in the Mekong Delta, Vietnam. *BioResources*, vol. 13, no. 4, 13 Aug. 2018.

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J. Selection and Use of Designer Biochars to Improve Characteristics of Southeastern USA Coastal Plain Degraded Soils. *Advanced Biofuels and Bioproducts*, New York, NY, p. 69–96, 7 Jun. 2012.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Treatment of vinasse by adsorption on carbon from sugar cane bagasse. *Química Nova*, 2016.

SRI SHALINI S.; PALANIVELU K.; RAMACHANDRAN A.; RAGHAVAN, V. Biochar from biomass waste as a renewable carbon material for climate change mitigation in reducing greenhouse gas emissions—a review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 11, no. 5, p. 2247–2267, 30 Jan. 2020.

XU, Q.; JI, T.; GAO, S.-J.; YANG, Z.; WU, N. Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials. *Materials*, vol. 12, no. 1, p. 39, 22 Dec. 2018.

ZHANG, X.; YANG, X.; YUAN, X.; TIAN, S.; WANG, X.; ZHANG, H.; HAN, L. Effect of pyrolysis temperature on composition, carbon fraction and abiotic stability of straw biochars: correlation and quantitative analysis. *Carbon Research*, vol. 1, no. 1, 29 Aug. 2022.

IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DA ETA DE SÃO GONÇALO/PB E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL

Uso de tecnologia para monitoramento ambiental

Fernanda Carolina Monteiro Ismael
Orientação: Profa. Me. Instituto Federal de
Educação da Paraíba – IFPB
fernanda.ismael@ifpb.edu.br

Emmilly Almeida dos Santos
Aluna do Curso Técnico Integrado em Meio
Ambiente, Instituto Federal de Educação da
Paraíba – IFPB
emmilly.almeida@academico.ifpb.edu.br

Ana Luiza Fernandes
Aluna do Curso Técnico Integrado em Meio
Ambiente, Instituto Federal de Educação da
Paraíba – IFPB
ana-fernandes.af@academico.ifpb.edu.br

Maria Clara da Silva Araújo
Aluna do Curso Técnico Integrado em Meio
Ambiente, Instituto Federal de Educação da
Paraíba – IFPB
maria.araujo.3@academico.ifpb.edu.br

Sara Maraia Souza de Queiroz
Aluna do Curso Técnico Integrado em Meio
Ambiente, Instituto Federal de Educação da
Paraíba – IFPB
sara.maraia@academico.ifpb.edu.br

Gilcean Silva Alves
Prof. Dr. Instituto Federal de Educação da
Paraíba - IFPB
gilcean.alves@ifpb.edu.br

Resumo

O abastecimento de água é um dos usos da água mais exigentes, por isso, a mesma precisa passar por uma Estações de Tratamento de Água (ETA). Apesar de serem muito relevantes, as ETAs podem gerar impactos ambientais negativos. Nesse contexto, neste trabalho, objetivou-se identificar os impactos ambientais gerados na ETA de São Gonçalo/PB e propor medidas de controle ambiental. A metodologia adotada consistiu, basicamente, em: diagnóstico das etapas de tratamento (realizado mediante visitas técnicas à ETA estudada), identificação dos impactos ambientais (utilizando métodos de avaliação de impactos ambientais: Ad Hoc, Check Lists e Matriz de Interação) e proposição de medidas de controle ambiental (medidas mitigadoras, compensatórias e potencializadoras). Entre os resultados alcançados, destaca-se que: a ETA estudada possui todas as etapas relativas a um tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). Com relação à identificação dos impactos ambientais, percebeu-se que a etapa de decantação é a responsável pela maior parte dos impactos identificados. Entre os impactos identificados, citam-se: a contaminação do solo e da água; danos à biota aquática e prejuízos à saúde humana. No que se refere às medidas de controle ambiental propostas, podem-se destacar: a reutilização da água de lavagem dos filtros, o tratamento e a disposição final do lodo do decantador. Mediante o exposto, pôde-se concluir que a ETA estudada possui todas as etapas do tratamento convencional, mas algumas delas desencadeiam diversos impactos ambientais. Sendo necessária a adoção de medidas de controle ambiental para que a ETA em estudo possa operar com mais sustentabilidade.

Palavras-chave: Estação de tratamento de água; Avaliação de impactos ambientais; Medidas

INTRODUÇÃO

A água é considerada um dos recursos naturais mais importantes para a humanidade, sendo a mesma utilizada para diversos fins. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019), os principais usos da água no Brasil são: irrigação (49,8%), abastecimento de água (24,3%), indústria (9,7%), uso animal (8,4%), termelétricas (4,5%), mineração (1,7%) e abastecimento rural (1,6%).

Nesse contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece que, em situações de escassez, os usos prioritários são abastecimento humano e dessedentação de animais (BRASIL, 1997), tendo em vista a relevante importância dos mesmos.

Nesse cenário, destaca-se o abastecimento de água que, segundo a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que estabelece o Padrão de Potabilidade da Água, consiste em “água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem” (BRASIL, 2021).

Ainda sobre a água para abastecimento, percebe-se que para a mesma ser distribuída para a população, é necessário que seja atestada a sua potabilidade, ou seja, que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido em Brasil (2021) e que não ofereça riscos à saúde.

Para alcançar a potabilidade da água, normalmente, faz-se necessário que a mesma passe por Estação de Tratamento de Água (ETA). Segundo Silva (2020), o tratamento de água convencional, o mais utilizado no Brasil, é composto, basicamente, pelos processos descritos a seguir: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Cada uma dessas etapas tem relevante importância para o correto tratamento de água, visando a sua potabilidade.

Apesar de serem muito relevantes, as ETAs, por meio das suas etapas de tratamento, também geram impactos ambientais negativos. Segundo Ramos (2018), os principais deles estão relacionados ao lodo gerado no decantador e às águas utilizadas para a lavagem dos filtros.

Nesse contexto, destaca-se a Estação de Tratamento de Água de São Gonçalo – PB, uma ETA de ciclo completo que, apesar de funcionar de forma satisfatória, ainda não tem implantadas medidas objetivou-se identificar os impactos ambientais provenientes das etapas de tratamento da ETA de São Gonçalo/PB e propor medidas de controle ambiental para redução desses impactos.

METODOLOGIA

DIAGNÓSTICO DAS ETAPAS DE TRATAMENTO

Essa etapa metodológica será realizada mediante visitas técnicas à ETA estudada, onde será feito um diagnóstico de todas as etapas de tratamento, a saber: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS NAS ETAPAS DE TRATAMENTO

A identificação dos impactos ambientais na área de estudo será realizada por meio de visitas de campo in loco e da utilização dos métodos de avaliação de impactos ambientais (AIA): Ad Hoc (Método Espontâneo), Check Lists (Listagens de Verificação) e Matriz de Interação, de acordo com Fogliatti; Filippo e Goudard (2004), Sánchez (2008) e Cunha e Guerra (2010).

PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL

Para cada impacto ambiental significativo identificado serão propostas medidas de controle ambiental, a saber: medidas mitigadoras e compensatórias (para os impactos negativos) e medidas potencializadoras (para os impactos positivos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DIAGNÓSTICO DAS ETAPAS DE TRATAMENTO

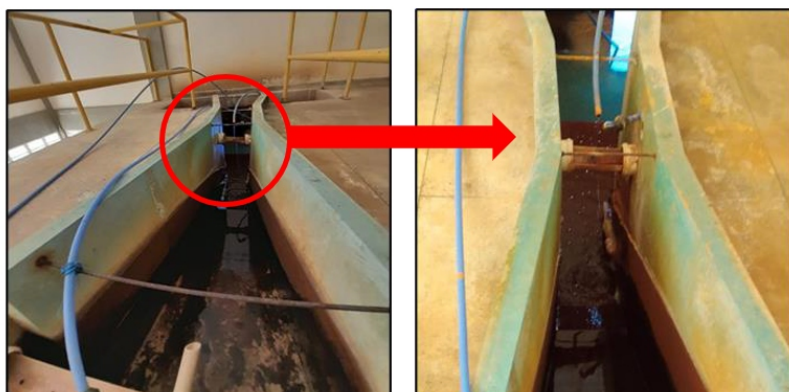
A seguir será feita uma descrição das etapas de tratamento da área de estudo.

Coagulação ou mistura rápida

A coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, tal desestabilização é realizada pela conjunção de ações físicas e reações químicas entre o coagulante, a água e as impurezas presentes na água (LIBANIO, 2010).

De acordo com a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA (2023), na coagulação da estação de tratamento de água (ETA) de São Gonçalo - PB, o agente coagulante utilizado é o sulfato de alumínio líquido. Com relação à quantidade aplicada, o sulfato é adicionado em função da vazão diária e monitorada por meio de testes, que são realizados diariamente. Na figura 1, apresenta-se o dispositivo utilizado para a realização do processo de coagulação na área de estudo.

Figura 1- Calha Pashal utilizada na etapa de coagulação.



Fonte: Autoria própria (2023).

Floculação

De acordo com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE (2022), a floculação é um processo físico, realizado em tanques de concreto, denominados de chicanas, com a água em movimento, onde as partículas de impurezas se aglutinam em flocos maiores para que possam ser removidas pela próxima fase.

Segundo a CAGEPA (2023), a floculação na ETA de São Gonçalo é feita por meio de três flocladores, de fluxo vertical, onde cada um deles possui em torno de vinte chicanas, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2- Chicanas utilizadas na etapa de floculação. Fonte: Autoria própria (2023).

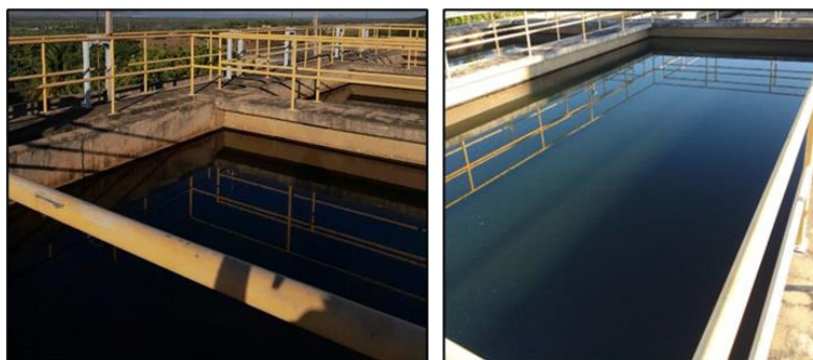


Decantação

Conforme a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP (2023), na etapa de decantação (processo físico), a água passa por grandes tanques para separar, por meio da gravidade, os flocos de impurezas formados na etapa anterior.

Com relação à decantação da área de estudo, segundo a CAGEPA (2023), a mesma é realizada por meio de três decantadores, com dimensões de 60m de comprimento e 1,20m de largura. Na figura 3, mostram-se os tanques que são utilizados para a realização desta etapa.

Figura 3- Tanques utilizados na etapa de decantação. Fonte: Autoria própria (2023).



Filtração

Conforme a SABESP (2023), na etapa de filtração (processo físico), a água passa por tanques formados por pedras, areia e/ou carvão antracito. Esses tanques (filtros) são responsáveis por remover as impurezas de pequenas dimensões, que não foram retidas na fase de decantação.

De acordo com a CAGEPA (2023), a ETA de São Gonçalo possui 6 filtros (Figura 4) de fluxo descendente, com lavagem ascendente. O material filtrante utilizado é a areia, totalizando oito camadas em cada filtro. A limpeza dos filtros é realizada a cada dois dias, podendo ser mais frequente, conforme a qualidade da água bruta.

Figura 4 - Filtros utilizados na etapa de filtração.



Fonte: Autoria própria (2023).

Desinfecção

Conforme a SABESP (2023), a desinfecção é a última etapa de tratamento, onde é feita a adição de cloro à água (processo químico) antes de a mesma ser distribuída. O principal objetivo desta etapa é garantir que a água fornecida chegue à casa do consumidor isenta de bactérias e de vírus.

De acordo com a CAGEPA (2023), na área em estudo, a desinfecção é realizada em um reservatório, onde a água clarificada recebe o cloro gasoso (Figura 5). Com relação à dosagem utilizada, a concessionária afirma que a vazão do cloro adicionado à água pode variar de 3 a 5 BPM.

Figura 5 - Reservatório onde ocorre a cloração (a) e cilindro de cloro (b).



Fonte: Autoria própria (2023).

IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS NAS ETAPAS DE TRATAMENTO

No quadro 1, apresenta-se a identificação dos impactos ambientais encontrados na ETA estudada.

Quadro 1- Identificação dos impactos ambientais gerados nas etapas de tratamento

Etapa do tratamento	Atividade	Aspecto	Impacto
Coagulação	Uso do sulfato de alumínio	Contato do coagulante com a pele	Prejuízo à saúde humana
	Formação de espuma	Lançamento da espuma no solo	Contaminação do solo
Floculação	Lavagem do floculador	Lançamento de resíduos no ambiente	Contaminação do solo
			Contaminação da água
			Danos a biota aquática
Decantação	Lavagem dos decantadores	Descarte do lodo do decantador	Contaminação do solo
			Contaminação da água
			Assoreamento do corpo hídrico
			Danos à biota aquática
Filtração	Lavagem dos filtros	Desperdício de água	Redução da disponibilidade de água nos corpos hídricos
		Lançamento da água de lavagem dos filtros	Alterações no ambiente
Desinfecção	Utilização de cloro gasoso	Dispersão do gás	Prováveis prejuízo à saúde humana
		Adição de cloro na água	Alterações na qualidade do ar
			Melhorias na qualidade da água de abastecimento

Fonte: Autoria própria (2023)

A seguir, será apresentada uma breve descrição de como os impactos ambientais, apresentados no Quadro 1, ocorrem em cada etapa de tratamento.

Coagulação

Na etapa de coagulação foram identificados dois impactos ambientais: Prejuízo à saúde humana e contaminação do solo. No Quadro 2, apresenta-se a descrição dos impactos ambientais citados anteriormente.

Quadro 2 – Descrição dos impactos identificados na etapa de coagulação

Impacto	Descrição
Prejuízo à saúde humana	Será ocasionado se acontecer de o agente coagulante entrar em contato com a pele do operador
Contaminação do solo	Que pode ser ocasionado como consequência do descarte inadequado da espuma, formada a partir do contato da água com o agente coagulante

Fonte: Autoria própria (2023)

Floculação

Na etapa de floculação foram identificados três impactos ambientais: contaminação do solo, contaminação da água e danos à biota aquática, esses foram resultados de um lançamento de resíduos em um ambiente inapropriado.

Quadro 3 – Descrição dos impactos identificados na etapa de floculação

Impacto	Descrição
Contaminação do solo	Pode ocorrer se a água usada na lavagem do floculador for lançada em locais inapropriados sem ter passado por nenhum tratamento
Contaminação da água	
Danos à biota aquática	Acontecerá se a água usada na lavagem do floculador for lançada em rios ou córregos sem ter passado por nenhum tipo de tratamento, com isso, poderá prejudicar os micro-organismos e a vida aquática do local

Fonte: Autoria própria (2023)

Decantação

Na etapa de decantação foram identificados cinco impactos ambientais: contaminação do solo, contaminação da água, assoreamento de corpo hídrico, danos à biota aquática e prováveis prejuízos à saúde humana, conforme pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição dos impactos identificados na etapa de decantação

Impacto	Descrição
Contaminação do solo	Pode ser ocasionado se houver contato do lodo com o solo
Contaminação da água	
Assoreamento do corpo hídrico	
Danos à biota aquática	
Prováveis prejuízos à saúde humana	Pode ocorrer caso o operador tenha contato com o lodo

Fonte: Autoria própria (2023)

Filtração

Na etapa de filtração foram identificados dois impactos ambientais (quadro 5), o primeiro impacto é a redução da disponibilidade de água nos corpos hídricos e o segundo impacto refere-se às alterações do ambiente, resultado do lançamento de água da lavagem dos filtros.

Quadro 5 – Descrição dos impactos identificados na etapa de filtração

Impacto	Descrição
Redução da disponibilidade de água nos corpos hídricos	Causada pelas repetidas vezes em que o filtro é lavado
Alterações no ambiente	Podem ser ocasionadas pelo lançamento de água de lavagem dos filtros no ambiente

Fonte: Autoria própria (2023)

Desinfecção

Na etapa de desinfecção foram identificados os seguintes impactos (quadro 6): prejuízos à saúde humana e a alteração da qualidade do ar, proveniente da utilização de cloro gasoso nessa etapa, que ocasiona a dispersão do mesmo.

Quadro 6 - Descrição dos impactos identificados na etapa de desinfecção

Impacto	Descrição
Contaminação do ar	Pode acontecer durante o processo de realização da etapa
Danos à saúde humana	Pode ocorrer com a inalação (por parte dos operadores) do gás utilizado no tratamento
Melhorias na qualidade da água de abastecimento	Proporciona melhor aproveitamento da água, podendo atender melhor as demandas dos consumidores

Fonte: Autoria própria (2023)

PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL

No quadro 7, apresentam-se medidas que podem ser tomadas para que os danos ao meio ambiente sejam reduzidos e/ou mitigados.

Quadro 7 - Proposição de medidas de controle ambiental

Atividade	Aspecto	Impacto	Proposição de medidas de controle ambiental
Uso do sulfato de alumínio	Contato do coagulante com a pele	Prejuízo à saúde humana	Uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) por parte dos operadores da ETA
	Lançamento da espuma no solo	Contaminação do solo	Tratamento da espuma, antes de ser lançada no solo
Lavagem do floculador	Formação de espuma	Contaminação da água	Tratamento dos resíduos
		Danos à biota aquática	Reuso da água pós-tratamento
Lavagem dos decantadores	Descarte do lodo do decantador	Contaminação do solo	Tratamento do lodo do decantador
		Contaminação da água	

Fonte: Autoria própria (2023)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o exposto, pôde-se concluir que a ETA estudada possui todas as etapas do tratamento convencional, mas algumas delas desencadeiam diversos impactos ambientais, dando destaque para a decantação, que desencadeia, pelo menos os seguintes impactos ambientais: contaminação do solo e da água, assoreamento do corpo hídrico e danos à biota aquática. Sendo necessária a adoção de medidas de controle ambiental para que a ETA em estudo possa operar com mais sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Usos da água. Dados de 2019, acesso em 02 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 13p, 1997.

BRASIL. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, 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, Brasília, DF, 27p, 2021.

CAGEPA. Informações sobre a ETA de São Gonçalo. Entrevista realizada com José Erismar – Técnico responsável pela ETA de São Gonçalo. 2023.

CUNHA, B. C.; GUERRA, A. J. T. Avaliação e perícia ambiental. 10ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010, 286 p.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, 249 p.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP, 2010, 493p.

MOREIRA, V. T. G.; PAIVA, G. S.; SOARES, A. F. S. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo?. Revista Petra, v. 3, n. 1, p. 17-37, jan./jul. 2017.

RAMOS, J. G. V. da S. Análise de uma estação de tratamento de água quanto à geração e destinação de resíduos. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo - PR, 66p, 2018.

RAMOS, J. G. V. da S. et al. Resíduos de estação de tratamento de água: caracterização e possíveis impactos ambientais. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu-PR, 9p, 2019.

REIS, E. L. T. Avaliação do impacto ambiental de estações de tratamento de águas em cursos d'água. Environmental and Health World Congress, p 16 - 19, 2006.

SAAE. Processo de Tratamento da Água. Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE. Dados de 2022, acesso em 02 de agosto de 2023. Disponível em: <https://saaemachado.mg.gov.br/o-saae/processo-de-tratamento-da-agua/>.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 495p.

SILVA, K. M. de S. Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no país. TCC apresentado ao Instituto Federal de Educação da Paraíba, Cajazeiras - PB, 75p, 2020.

SOBRE OS ORGANIZADORES



CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

Claudiomir da Silva dos Santos:

Técnico em Agropecuária pelo IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes, graduação em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Biologia pelo UNICLAR e Pedagogia pela UNINTER, Doutorado em Promoção da Saúde pela Universidade de Franca - UNIFRAN, Mestrado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, pós-graduado em Sistema de Gestão Ambiental, Educação para o Campo, Educação Ambiental, Auditoria e Perícia Ambiental, Vigilância em Saúde Ambiental. Foi professor de graduação e pós-graduação na UVA e UECE - CE. Atua nas áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais com trabalhos publicados nestas áreas do conhecimento. Foi professor da UNINCOR e FACICA, nos cursos de Agronomia, Gestão ambiental, Biologia e Química. Em 2008 assumiu o cargo de professor do IFSULDEMINAS, Campus Muzambinho em regime DE, atuando nos cursos Técnicos de Agropecuária, Meio Ambiente, Cafeicultura, Curso Superior de Agronomia, Líder do Grupo de Pesquisa Ciências Ambientais do CNPQ. Coordenador do Projeto Rondon IFSULDEMINAS, Campus Muzambinho, atualmente atua como Coordenador do Curso Técnico de Meio Ambiente do IFSULDEMINAS Campus Muzambinho, Membro do Fórum Mineiro de Combate ao Agrotóxico-FMCA, Membro do Comitê de Bacia Hidrográfica Mogi-Pardo CBH GD6, Membro da Comissão Organizadora do Simpósio de Hidrologia Médica, Águas Termais, Minerais e Naturais de Poços de Caldas, Membro do Comitê Científico da Rede de Pesquisa em Desenvolvimento Resiliente ao Clima RIPEDRC e do Environmental Resilience Research and Science (IJERRS) e Presidente da Comissão Técnica do Congresso Nacional de Meio Ambiente.

claudiomirsilvasantos@gmail.com

Fabrcício dos Santos Ritá:

Possui formação Técnica em Enfermagem e em Segurança do Trabalho. Bacharel e Licenciado em Enfermagem. Licenciado em Ciências Biológicas. Licenciado em Pedagogia. Graduando em Jornalismo. Especialista em Enfermagem do Trabalho (UNIUBE), Educação ambiental (UFLA), Gestão Ambiental (CLARENTIANO), Gestão Escolar e Coordenação Pedagógica (UNIFAVENI). Mestre em Biotecnologia aplicada à Saúde (UNAERP). Doutor em Promoção de Saúde pela UNIFRAN (Universidade de Franca). Presidente da Comissão Organizadora do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas e do Membro da Comissão Técnico Científica do Congresso de Educação de Poços de Caldas. Atua como docente no IFSULDEMINAS/Campus de Muzambinho desenvolvendo ações profissionais nas temáticas de saúde, segurança e meio ambiente. Entre as metodologias instituídas em sua prática de ensino implementa a ênfase de atividades relacionadas a prevenção de riscos, minimização de patologias ocupacionais, caracterização entre ambiente de trabalho, ecologia e harmonização entre homem e natureza, bem como o uso racional das tecnologias e da saúde laborativa. Busca identificar e estreitar as inter-relações

CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

entre as mudanças climáticas e os efeitos sobre a saúde dos trabalhadores. Leciona nos cursos de Enfermagem, Vigilância em Saúde, Urgência e Emergência, Enfermagem do Trabalho, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente. Membro do Comitê Científico da Climate Resilient Research Network (RIPEDRC) e Pesquisa e Ciência em Resiliência Ambiental (IJERRS) e Membro do Fórum Mineiro de Combate aos Agrotóxicos (FMCA).

fabriciosantosrita@gmail.com

Generci Dias Lopes:

Formado como Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho-MG no ano de 1994. Possui graduação em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário da Fundação Educacional Guaxupé (1999). Atualmente é técnico administrativo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais desde 1997, onde coordena o setor de pequenos animais como: Aves de Corte e Postura, Cunicultura e Caprinocultura.

generci.lopes@muz.ifsuldeminas.edu.br

Valquíria Mikaela Rabelo

Bióloga, Pedagoga, Especialista em Design Instrucional, Especialista em Biologia Molecular e Genética e Mestre em Ciências Ambientais. Tem experiência nas áreas de educação e biologia, tendo atuação nos segmentos de gestão, metodologias de ensino, currículo, tecnologias de informação e comunicação na educação, bioquímica, fisiologia, biologia molecular, genética, meio ambiente e agricultura sustentável.

valquiriamrabelo@hotmail.com

Hernani Ciro Santana

Doutor em Ciências Humanas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (2013). Especialista em Docência do Ensino Superior pela Universidade Vale do Rio Doce (2018). Gestão Ambiental pela Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde (2010). Professor da Universidade Vale do Rio Doce e Coordenador do Curso de Engenharia Civil e Ambiental. Ministra as disciplinas

CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

Saneamento e Meio Ambiente, Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Sistema de Gestão Ambiental para os cursos de graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental e Arquitetura e Urbanismo. Coordena o LEAS (Laboratório Cidadão de Ecologia do Adoecimento e Saúde dos Territórios). É professor pesquisador do Núcleo de Ciências e Tecnologia da Universidade do Vale do Rio Doce onde integra o corpo docente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão Integrada do Território (GIT). Integrante do Instituto de Pesquisas em Riscos e Sustentabilidade - IRIS/UFSC. Presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Suaçui - (CBH-Suaçui) e membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce) . Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em gestão ambiental e análise social de riscos.

hernanicsantana@gmail.com

Cléber Moterani Tavares

Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas, mestre em Ciência e Tecnologia da Computação pela Universidade Federal de Itajubá (2013), especialista em Banco de Dados (2007) e bacharel em Ciência da Computação (2005) pelo Centro Universitário do Sul de Minas. Atualmente é Analista de Tecnologia da Informação da Universidade Federal de Alfenas.

moterani@gmail.com

Gilcean Silva Alves

Licenciado em Biologia pela Universidade Federal da Paraíba (1993), Especialização em Pesquisa, mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2002) e doutorado em Agronomia (área de Ecologia e Conservação do meio ambiente) pela Universidade Federal da Paraíba (2012). Atualmente sou Professor efetivo do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos e Tecnologia em Agroecologia do IFPB Campus Sousa e Professor credenciado ao Programa de Pós Graduação Strincto Sensu (Mestrado) em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT). Desenvolvo pesquisas na área de Ecologia do Semiárido, arborização urbana e Microbiologia geral.

gilcean.alves@ifpb.edu.br

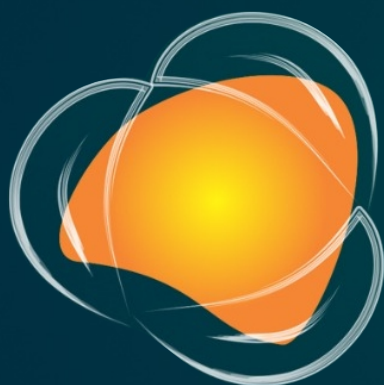
CURRICULUM DOS ORGANIZADORES

Paulo Roberto Megna Francisco

Atuou como Pesquisador de DCR -Fapesq na Universidade Federal da Paraíba UFPB/CCA/Areia. Doutorando em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia e Graduação como Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande UFCG e em Tecnologia Agrícola - Mecanização pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru. Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atuando atualmente como pesquisador e colaborador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande e Campus de Sumé. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola, ZARC, carbono dos solos, salinidade, fertilidade natural, condutividade elétrica e hidráulica, geoprocessamento, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de 263 PDAs. Atuou como Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC entre 2014-1019. Participa do Comitê Organizador do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas 2021-2023. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC com mais de 120 obras.

paulomegna@gmail.com

21º CONGRESSO NACIONAL DE
MEIO AMBIENTE - POÇOS DE CALDAS 2024.



GESTÃO AMBIENTAL

Realização



Apoio



Compartilhando conhecimento