

Juliano Pizzano Ayoub
Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira
(Orgs.)

DADE
DIREÇÕES

**AMBIÊNCIA,
ENGENHARIA
E SUSTENTABILIDADE**
EM DIFERENTES ESPAÇOS E DIREÇÕES



VOL. 4



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2026 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2026 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2026
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2026	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A492 Ambiência, engenharia e sustentabilidade em diferentes espaços e direções: volume 4 / Organizadores Julianno Pizzano Ayoub, Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira. – Barueri-SP: Científica Digital, 2025.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-6155-187-8
DOI 10.37885/978-65-6155-187-8

1. Engenharia. I. Ayoub, Julianno Pizzano (Organizador). II. Oliveira, Marcel Ricardo Nogueira de (Organizador). III. Título.

CDD 620

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Engenharia

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2026

Julianno Pizzano Ayoub
Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira
(Orgs.)

Ambiência, Engenharia e Sustentabilidade em diferentes espaços e direções

Volume 4

1ª EDIÇÃO



científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Julianno Pizzano Ayoub

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

SUMÁRIO

Capítulo 01

ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS EM ENROLAMENTOS DO ESTATOR DE HIDROGERADORES COM BANCADA AUTOMATIZADA

José Vitor Bernardes Junior; Mateus Gabriel Santos; Credson de Salles; José Renato Castro Milanes; Edson da Costa Bortoni; Guilherme Sousa Bastos; Gerson André Braulio

 10.37885/260221313 8

Capítulo 02

A IMPORTANCIA DA EDUCAÇÃO IMOBILIARIA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM CRITICA À PARTIR DE KARL POPPER

Alexandre Balbino

 10.37885/260521811 31

Capítulo 03

EFEITO DA LAMA DE REJEITOS MINERÁRIOS SOBRE FRAGMENTOS FLORESTAIS RIPÁRIOS: UM ESTUDO DE CASO TEMPORAL NA ESCALA DE PAISAGEM AO LONGO DE 18 ANOS

Ana Carolina Martins Rocha; Orlando Vitor Vital

 10.37885/260521936 48

Capítulo 04

DIAGNÓSTICO DA INFRAESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ESCOLAS RURAIS BENEFICIADAS PELO PROGRAMA CISTERNAS NAS ESCOLAS NO ESTADO DE ALAGOAS

Elvis Pantaleão Ferreira

 10.37885/260521987 69

Capítulo 05

HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO ALTIPLANO ANDINO: TECNOLOGIAS PASSIVAS E MATERIAIS INOVADORES PARA O CONFORTO TÉRMICO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Arnaldo Jorge Condori Palomino; Juan Alexander Condori Palomino; Fredy Sosa Gutiérrez; Humberto Mamani Coaquira; José Antonio Supo Gutiérrez; Oscar Gustavo Guadalupe Zevallos; Jorge Rosales Gallegos; Ruby Juniors Álvarez Arteaga; Grover Linder Flores Ponce; Néstor Omar Mercado Ayamamani

 10.37885/260622200 91

Capítulo 06**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LA ALBUFERA DE MEDIO MUNDO BASADA EN VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS**

Fredy Américo Zamora Jaquima; Walter Javier Diaz Cartagena

doi 10.37885/260722549 104**Capítulo 07****GOVERNANÇA, ESG E GREENWASHING: EVIDÊNCIAS SOBRE SUSTENTABILIDADE EM SETORES PRODUTIVOS BRASILEIROS**

Sinara Silva Pinheiro Lopes; Pablo Falco Lopes; Luiz Cláudio Louzada

doi 10.37885/260822771 120**Capítulo 08****ANÁLISE DA ARTICULAÇÃO DOS STAKEHOLDERS, SOB O FOCO DA ESG E SUSTENTABILIDADE, NO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM; MARIANA - MG**

Elisângela Fátima de Oliveira

doi 10.37885/260822844 142**Capítulo 09****INFLUÊNCIA DE UM CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA DE *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* UTILIZANDO DIFERENTES SUBSTRATOS**

Naiara Lopes Lacerda; Beatriz Santana da Silva; Valmir Félix de Lima; Gisely Alves da Silva; Maria de Los Angeles P. F. Palha; Jorge Vinícius F. L. Cavalcanti; Derovil Antônio dos Santos Filho; Maurício Alves da Motta Sobrinho

doi 10.37885/260822848 165**SOBRE OS ORGANIZADORES** 178**ÍNDICE REMISSIVO** 179

ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS EM ENROLAMENTOS DO ESTATOR DE HIDROGERADORES COM BANCADA AUTOMATIZADA

José Vitor Bernardes Junior

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Mateus Gabriel Santos

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Credson de Salles

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

José Renato Castro Milanes

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Edson da Costa Bortoni

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Guilherme Sousa Bastos

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Gerson André Braulio

Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)

RESUMO

Objetivo: Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma bancada de ensaios automatizada projetada para a realização de testes de Ciclagem Térmica em enrolamentos de estator de geradores hidrelétricos sob tensão nominal. O sistema proposto permite a reprodução combinada de esforços elétricos, térmicos e mecânicos, representando de forma mais fiel as condições reais de operação. Um dos principais desafios abordados neste trabalho é a determinação de uma correlação confiável entre a temperatura interna do enrolamento e a temperatura medida em sua superfície externa, uma vez que a aplicação da tensão nominal impede a instalação de sensores diretamente no interior do enrolamento. Além disso, a metodologia proposta incorpora o monitoramento contínuo de descargas parciais durante toda a execução do ensaio. Essa abordagem difere dos procedimentos convencionais de envelhecimento acelerado, nos quais as medições de descargas parciais são normalmente realizadas apenas antes e após o período de teste.

Palavras-chave: Descargas parciais; hidrogerador; ciclo de vida do estator; automação de ensaios.

INTRODUÇÃO

As descargas parciais são pequenas faíscas que ocorrem devido ao fluxo de cargas elétricas quando há uma pequena ruptura gasosa. Elas normalmente acontecem em pequenas cavidades no sistema de isolamento de máquinas elétricas, quando o campo elétrico incidente ultrapassa o limite de rigidez dielétrica do gás que preenche essas cavidades.

Essas descargas são chamadas de parciais porque existe um material isolante com maior limite de rigidez dielétrica em série com as cavidades. De acordo com a norma IEEE Std. 1434 (2000), descargas parciais são descargas elétricas incompletas que ocorrem entre partes do sistema de isolamento ou entre a isolamento e o condutor. Para geradores de energia, isso significa que as descargas parciais podem ser definidas como descargas elétricas incompletas que ocorrem no interior dos enrolamentos do estator, especificamente em geradores com tensão de 2,3 kV (dois mil e trezentos volts) ou superior.

As descargas parciais em geradores geralmente são intensificadas por diferentes tipos de esforços (elétricos, térmicos, termomecânicos, entre outros) presentes durante a operação desse tipo de equipamento (C. Stone *et al.*, 2014). Assim, o monitoramento de descargas parciais fornece um diagnóstico da condição da isolamento do gerador, e a evolução dessas descargas pode indicar que a isolamento está degradada ou envelhecida devido aos múltiplos tipos de esforços presentes durante a operação.

O monitoramento on-line de descargas parciais fornece resultados que facilitam o planejamento de atividades de manutenção e reparo dos enrolamentos do estator, além de disponibilizar dados para o desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de prever a vida útil remanescente dos geradores (Sumereder, 2008).

De acordo com dados estatísticos, as falhas na isolamento representam a maioria das falhas em geradores (Study Committee SC 11, 2003). Diversas análises estatísticas foram realizadas com dados de unidades geradoras em operação, levando à conclusão de que o ciclo de vida do gerador está diretamente relacionado ao ciclo de vida da isolamento (I. J. Kokko, 2010; C. Stone *et al.*, 1988; Kelmann & Kaufhold, s.d.; Bartnikas & Morin, 2006).

A realização de ensaios de envelhecimento em laboratório, simulando os principais esforços aplicados à isolação das máquinas durante a operação, é um método eficiente para obter dados destinados ao desenvolvimento de modelos matemáticos para prever e avaliar a vida útil remanescente do gerador.

Os principais esforços relacionados à isolação de máquinas elétricas são os esforços elétricos, térmicos, mecânicos e termomecânicos. No entanto, a realização de experimentos de envelhecimento considerando apenas um tipo de esforço aplicado ao enrolamento não produz o mesmo envelhecimento e degradação observados na operação normal, na qual todos os esforços atuam simultaneamente (Bartnikas & Morin, 2006). Portanto, propõe-se o desenvolvimento de experimentos de envelhecimento sob múltiplos esforços, a fim de simular de forma mais realista o que ocorre durante a operação de máquinas elétricas (Bartnikas & Morin, 2006; Morin & Bartnikas, 2012).

O experimento de ciclo térmico realizado neste trabalho é padronizado pela IEEE Std. 1310 (2012). O efeito termomecânico ao qual as máquinas elétricas estão submetidas é simulado em um enrolamento de estator por meio da repetição de ciclos de aquecimento e resfriamento. Contudo, diferentemente do que a norma sugere, neste experimento foi proposta a aplicação simultânea da tensão nominal ao enrolamento. Dessa forma, tanto os esforços elétricos quanto os termomecânicos estão presentes simultaneamente no enrolamento, possibilitando o monitoramento das descargas parciais ao longo de todo o experimento.

Quanto à estrutura deste artigo, o Capítulo 2 aborda o software e os equipamentos utilizados para coletar e gerenciar os dados experimentais. Suas configurações são apresentadas no Capítulo 3. Um experimento preliminar é apresentado no Capítulo 4, estabelecendo uma relação matemática entre as temperaturas interna e externa do enrolamento. O Capítulo 5 apresenta os ajustes realizados para viabilizar a execução do experimento de ciclo térmico com aplicação de tensão nominal, bem como alguns resultados obtidos no LAT.

MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar de forma mais abrangente o impacto da aplicação simultânea de múltiplos esforços sobre as descargas parciais no enrolamento, o experimento proposto contempla o monitoramento on-line dessas

descargas durante toda a sua execução. Essa abordagem permite acompanhar, em tempo real, a evolução do fenômeno sob condições mais próximas da operação real da máquina.

Além do acompanhamento das descargas parciais, torna-se igualmente necessário monitorar outras variáveis relevantes ao longo do ensaio, como parâmetros elétricos e térmicos, a fim de garantir a correta interpretação dos resultados e a correlação entre os diferentes tipos de esforços aplicados e o comportamento do sistema de isolamento.

As descargas parciais, que constituem o principal objeto de estudo deste experimento, são monitoradas por meio do equipamento de medição da Haefely Test AG, modelo DDX 9121b. O sistema conta com um capacitor de acoplamento de 1 nF, da série 9230, com tensão máxima de operação de 100 kV, além de um calibrador de descargas parciais modelo 9520, com faixa de calibração entre 1 pC e 50 nC.

O capacitor de acoplamento, além de sua função principal no circuito de medição, também atua como divisor de tensão, permitindo que o software do equipamento registre não apenas os sinais de descargas parciais, mas também o valor da tensão aplicada ao enrolamento durante o ensaio.

As Figuras 1a, 1b apresentam, respectivamente, o monitor de descargas parciais, o capacitor de acoplamento e o calibrador utilizados no experimento.

No experimento de ciclo térmico, estabelece-se que a temperatura interna do enrolamento deve oscilar entre 40 °C e 155 °C, o que torna essencial seu acompanhamento contínuo durante todo o ensaio. Contudo, em razão da aplicação simultânea da tensão nominal, não é possível realizar medições diretas por meio da inserção de sensores no interior do enrolamento, pois qualquer intervenção física poderia comprometer a isolamento e alterar as condições do teste. Assim, a determinação da temperatura interna deve ser feita de forma indireta.

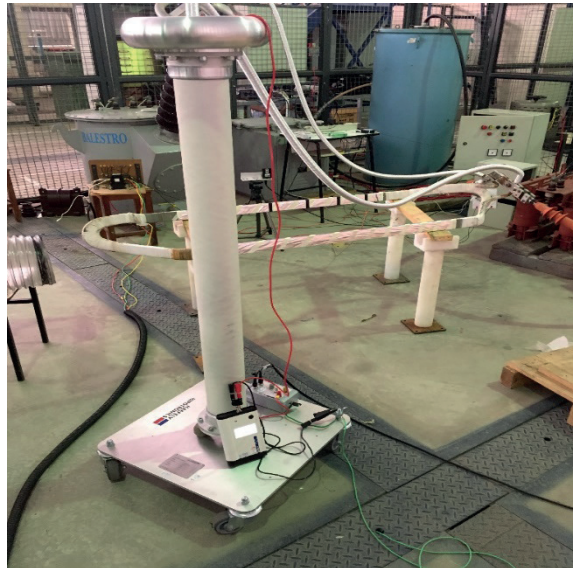
Para viabilizar esse procedimento, foi empregada uma câmera termográfica FLIR, modelo AX8, utilizada para monitorar a temperatura na superfície externa do enrolamento. Com base nesses dados, é possível posteriormente estabelecer uma relação entre a temperatura medida externamente e a temperatura estimada no interior do enrolamento.

Figura 1a - Monitor de Descargas Parciais.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Figura 1b - Capacitor de acoplamento.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Considerando que a câmera termográfica realiza apenas a medição da temperatura na superfície externa do enrolamento, foram conduzidos ensaios

específicos sem a aplicação de tensão elétrica, utilizando um enrolamento previamente perfurado. Essa adaptação permitiu a instalação de termopares no interior do enrolamento para a obtenção da temperatura interna de forma direta e precisa.

A partir da comparação entre as temperaturas medidas interna e externamente, foi possível determinar uma relação matemática entre elas, viabilizando a estimativa da temperatura interna com base nas medições realizadas na superfície externa durante os ensaios com tensão aplicada. nam at lectus urna duis convallis convallis tellus id. Vulputate mi sit amet mauris commodo quis imperdiet massa tincidunt. Morbi tincidunt augue interdum velit euismod.

Para promover o aquecimento do enrolamento, é necessário induzir uma corrente elétrica em seu interior. O monitoramento dessa corrente é fundamental para garantir que o aquecimento ocorra conforme os parâmetros estabelecidos na norma, permitindo ainda a realização de ajustes para acelerar ou desacelerar o processo, quando necessário.

A medição da corrente induzida é realizada por meio de três equipamentos: um transformador de corrente (TC) 0–2500 A : 0–5 A, um transdutor de corrente 0–5 A : 4–20 mA e um módulo FieldLogger para aquisição e registro dos dados.

A fim de avaliar a possível influência das condições ambientais sobre o enrolamento, realiza-se o monitoramento contínuo da temperatura ambiente, da umidade relativa do ar e do ponto de orvalho. Essas medições são efetuadas por meio do sensor modelo T311, fabricado pela Comet Sensors.

O monitor de descargas parciais realiza a comunicação com o computador por meio de seu software proprietário, utilizado para a calibração do sistema. Nesse procedimento, o calibrador aplica um sinal elétrico de referência conhecido, permitindo o ajuste adequado do equipamento. Além disso, o software possibilita iniciar e encerrar a aquisição de dados, acompanhar as medições em tempo real e exportar os registros em arquivos no formato “.csv”, entre outros.

Os demais dispositivos também possuem interface de comunicação e disponibilizam seus dados por meio do protocolo Modbus TCP/IP. O transformador de corrente (TC) e o transdutor são responsáveis apenas pela conversão da corrente induzida, na faixa de 0 a 1000 A, para um sinal padrão de 4 a 20 mA. Esse sinal é encaminhado ao módulo FieldLogger, que realiza a aquisição e torna as informações disponíveis para leitura via Modbus.

Para permitir a integração dos equipamentos em rede Ethernet TCP/IP, foi instalado um switch PoE de 24 portas na parte externa da bancada da célula de ensaios.

O PI é um sistema de infraestrutura de dados desenvolvido pela OSI-SOFT, empregado neste trabalho para o armazenamento, gerenciamento e visualização das informações experimentais. A plataforma integra dados provenientes de múltiplas fontes e permite a associação das variáveis monitoradas a elementos estruturados, favorecendo a organização lógica da planta e a interpretação dos resultados.

De forma geral, a arquitetura do PI pode ser dividida em três níveis funcionais:

Interfaces: responsáveis pela aquisição de dados a partir de diferentes fontes, como sensores e equipamentos de medição. Cada valor coletado é associado a um carimbo temporal e, posteriormente, enviado ao servidor. Existem interfaces específicas para cada protocolo de comunicação ou tipo de fonte de dados.

Servidor: composto por dois módulos principais. O PI Data Archive atua como um banco de dados temporal destinado ao armazenamento das variáveis, denominadas tags, recebidas das interfaces. O PI AF (Asset Framework), por sua vez, permite a organização dessas tags em estruturas hierárquicas que representam os ativos monitorados, facilitando a análise e a contextualização das informações.

Ferramentas de visualização: possibilitam o acesso, a consulta e a análise dos dados por meio de diferentes plataformas, como complementos para MS Excel, aplicações web e outros recursos computacionais.

No presente experimento, foram utilizadas três interfaces distintas: PI Interface for Modbus Ethernet ReadOnly, PI Interface for Modbus Ethernet ReadWrite e PI Interface for UFL, esta última empregada para a leitura de arquivos no formato “.csv”.

A UNIFEI utiliza o PI System desde 2016 e dispõe de infraestrutura dedicada instalada em seu datacenter, assegurando a coleta contínua, o armazenamento seguro e a confiabilidade dos dados experimentais.

Configuração do Experimento

Para viabilizar a realização do experimento, todos os equipamentos e interfaces do PI foram devidamente configurados, conforme descrito nas subseções seguintes. Além dos instrumentos de medição, outros dispositivos auxiliares foram empregados a fim de garantir o funcionamento adequado do sistema experimental.

Diferentemente do que é proposto na norma IEEE Std 1310, o ensaio de ciclo térmico foi conduzido com a aplicação simultânea da tensão nominal ao enrolamento, com o objetivo de possibilitar o acompanhamento da evolução das descargas parciais durante toda a execução do experimento.

O enrolamento de teste foi revestido, ao longo de sua parte retilínea, com uma camada condutiva de alumínio conectada ao ponto de aterramento. Dessa forma, a tensão aplicada estabelece-se entre o condutor e essa camada condutiva aterrada, que representa eletricamente o estator do gerador. Assim, a diferença de potencial concentra-se integralmente na isolação sólida do enrolamento, permitindo o monitoramento on-line das descargas parciais por meio do capacitor de acoplamento ao longo de todo o ensaio.

Para promover o aquecimento do enrolamento, foi implementado um circuito específico de indução de corrente. Utilizou-se um autotransformador variável alimentando um conjunto de indutores, pelos quais passa um cabo isolado onde a corrente é induzida. Esse cabo é conectado aos terminais do enrolamento, transferindo a corrente induzida e promovendo seu aquecimento gradual, possibilitando a realização do ciclo térmico.

O sistema de resfriamento é composto por um soprador de ar acoplado a um duto flexível aberto, direcionado para o enrolamento. Quando acionado, o sistema força um fluxo significativo de ar sobre o enrolamento, acelerando o processo de resfriamento e viabilizando a etapa correspondente do ciclo térmico.

Considera-se que um ciclo térmico está completo após a realização de uma etapa de aquecimento seguida de uma etapa de resfriamento, momento em que um novo aquecimento se inicia.

A Figura 2 apresenta o enrolamento apoiado sobre quatro suportes isolantes e envolto pela camada condutiva aterrada; a conexão entre o enrolamento e o capacitor de acoplamento; a ligação deste ao monitor de descargas

parciais por meio de um cabo coaxial de 50 Ω ; bem como o cabo de média tensão conectado à fonte de tensão em frequência industrial. Esses elementos constituem o circuito de aplicação de tensão.

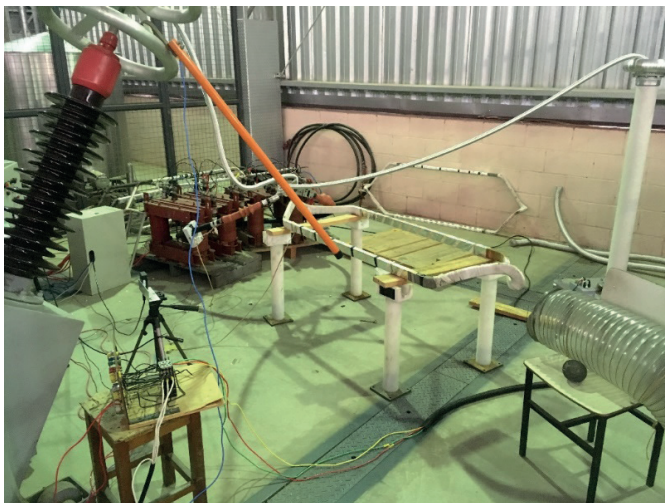
A Figura 3 ilustra o circuito responsável pela indução de corrente no enrolamento, composto por um cabo com isolamento em XLPE destinado à indução, quatro indutores de corrente conectados em paralelo e um autotransformador variável (VARIAC), operando em frequência industrial, com tensão ajustável entre 0 e 240 V. Por fim, o sistema de resfriamento é formado por um soprador acionado por motor de indução trifásico de 0,75 HP e pelo duto flexível que direciona o fluxo de ar ao enrolamento.

Para possibilitar o monitoramento da temperatura e o controle automático do circuito de indução de corrente e do sistema de resfriamento, foi utilizado o módulo Exsto XT136.

O módulo e as conexões empregadas no experimento. Esse conjunto é composto por um CLP Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC), cartão de expansão 8DI/8DQ, switch Ethernet de 5 portas, interface HMI KTP700 Basic, além de conectores, chaves e indicadores luminosos que facilitam a integração e a operação do sistema.

A programação do CLP foi desenvolvida em linguagem ladder. O sistema comunica-se com o FieldLogger ou diretamente com o PI por meio do protocolo Modbus Ethernet para aquisição das leituras de temperatura. O programa calcula a temperatura média e, ao atingir os limites superior ou inferior previamente definidos, aciona automaticamente o sistema correspondente: o resfriamento quando o limite superior é alcançado e o circuito de indução de corrente quando o limite inferior é atingido.

Figura 2 - Circuito de tensão aplicada.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Figura 3 - Circuito de corrente induzida.



Fonte: Autoria Própria (2026).

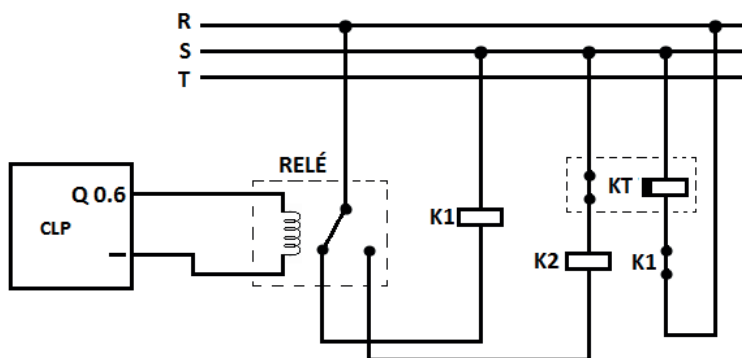
A programação do CLP foi desenvolvida em linguagem ladder. O sistema comunica-se com o FieldLogger ou diretamente com o PI por meio do protocolo Modbus Ethernet para aquisição das leituras de temperatura. O programa calcula a temperatura média e, ao atingir os limites superior ou inferior previamente definidos, aciona automaticamente o sistema correspondente: o resfriamento

quando o limite superior é alcançado e o circuito de indução de corrente quando o limite inferior é atingido.

Foi desenvolvida também uma interface de operação em HMI destinada ao acompanhamento e comando do experimento.

Como o CLP deve comandar tanto os indutores quanto o sistema de resfriamento em função da temperatura, utilizou-se uma saída digital. Entretanto, essa saída fornece 24 Vcc, enquanto os indutores operam em 220 Vca e o sistema de resfriamento em 380 Vca. Dessa forma, foi necessário projetar um circuito de acionamento com contatores e relé temporizador, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Circuito de comando.



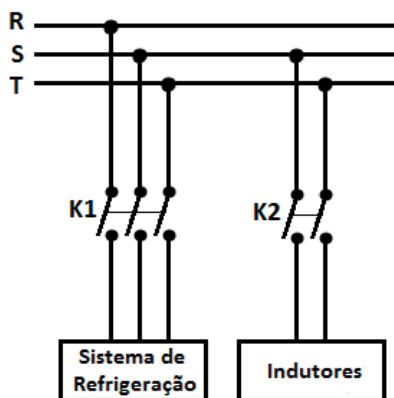
Fonte: Autoria Própria (2026).

A saída digital do CLP foi conectada à bobina de um relé de 24 Vcc, capaz de chavear até 250 Vca. A partir dessa configuração, os contatos do relé foram interligados às bobinas dos contatores K1 e K2 e ao relé temporizador KT, conforme o arranjo apresentado na Figura 5. Os contatos normalmente abertos de K1 e K2 foram conectados, respectivamente, ao sistema de resfriamento e ao circuito de indução de corrente, assegurando o acionamento adequado de cada sistema conforme a lógica de controle estabelecida.

Nessa configuração, quando a saída do CLP está em nível lógico 0, o sistema de resfriamento permanece acionado. Quando a saída assume nível lógico 1, a bobina de K1 é desenergizada e o relé temporizador KT é energizado, configurado para um período de 1 hora, atuando como dispositivo de segurança para o ciclo de aquecimento. Simultaneamente, a bobina de K2 é energizada,

alimentando os indutores e mantendo o aquecimento até que o limite superior de temperatura seja atingido ou que o temporizador de segurança interrompa o circuito.

Figura 5 - Circuito de Acionamento.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Aquisição e Armazenamento de dados utilizando o PI

O PI é responsável pela aquisição e centralização dos dados provenientes dos diversos equipamentos de instrumentação, por meio de interfaces configuradas conforme os protocolos de comunicação de cada dispositivo.

No caso do monitor de descargas parciais, o software proprietário disponibiliza os dados mediante exportação manual de relatórios em formato “.csv”, codificados em UCS-2. Para automatizar essa rotina, foi empregada uma ferramenta de macro, programada para executar automaticamente as seguintes etapas: inicialização do software, carregamento da última calibração, início da aquisição, espera de trinta minutos, encerramento da medição, salvamento do ensaio e exportação do arquivo “.csv”. Esse procedimento é repetido quarenta e oito vezes, completando um período de vinte e quatro horas. Assim, a cada dia, é necessária a intervenção de um operador para reiniciar o processo automático e garantir a continuidade da coleta.

Como a interface PI para UFL reconhece apenas arquivos codificados em UTF-8, desenvolveu-se um script em PowerShell para conversão automática dos

arquivos gerados. O script monitora continuamente a pasta de exportação e, ao identificar um novo arquivo em UCS-2, cria uma cópia equivalente em UTF-8. Após a conversão, o arquivo original é excluído, permitindo que a interface UFL processe corretamente o conteúdo convertido.

A parametrização da interface UFL requer a definição do diretório monitorado, do padrão de nomenclatura dos arquivos, da estrutura interna do relatório e da localização exata dos campos a serem extraídos, bem como das tags do PI que receberão os valores processados.

Para o monitor de descargas parciais, são extraídas as seguintes informações: data de início da aquisição, identificada por um padrão específico no arquivo; tempo decorrido desde o início da medição; valor de $Q(\text{peak})$ [pC], associado à variável Q_m ; tensão eficaz aplicada ao enrolamento; e taxa de pulsos de descarga, correspondente à NQN. Excetuando-se a identificação da data inicial, os demais parâmetros são reconhecidos com base na formatação estrutural do arquivo.

Após a leitura e o processamento das informações, as tags Q_m , TensãoRMS e NQN são atualizadas com seus respectivos valores, associados a um timestamp obtido pela combinação da data inicial da aquisição com o tempo relativo de cada registro.

Concluído o processamento, o sistema altera o nome do arquivo para evitar reprocessamento e, após determinado período, remove automaticamente os arquivos já utilizados.

Em relação aos demais dispositivos, a integração é realizada por meio de duas interfaces Modbus Ethernet: uma configurada como ReadOnly, destinada exclusivamente à leitura de dados, e outra como ReadWrite, utilizada para escrita em registradores específicos do CLP. A configuração dessas interfaces envolve a definição dos endereços IP dos equipamentos, da porta de comunicação empregada, usualmente a 502 no protocolo Modbus, além da criação de scan classes, responsáveis por estabelecer o intervalo de atualização das variáveis monitoradas.

A Tabela 1 apresenta os endereços IP dos dispositivos integrados ao sistema e a quantidade de tags configuradas para cada um deles

Tabela 1 - Endereços de IP e tags dos equipamentos.

Dispositivo	Endereço IP	Tags
Medidor de DPs	200.235.76.123	03
Câmera de termovisão	200.235.77.70	21
Termohigrômetro	200.235.77.74	03
Fieldlogger	200.235.77.76	12
CLP	200.235.77.79	05
Switch de rede	200.235.77.80	-

Fonte: Autoria Própria (2026).

A configuração das tags no PI é realizada por meio do software PI System Management Tools (PI SMT). Nesse ambiente, inicialmente deve-se indicar qual interface será utilizada e qual a instância correspondente, por meio dos campos "Point Source" e "Location1". Em seguida, define-se o identificador Modbus do equipamento de origem no campo "Location2".

O campo "Location3" é utilizado para especificar a função Modbus empregada e o tipo de dado a ser lido. Já em "Location4" seleciona-se a scan class, responsável por determinar o intervalo de atualização da variável. O endereço do registrador Modbus correspondente à informação desejada é inserido em "Location5". Por fim, o endereço IP do dispositivo é informado no campo "Instrument Tag".

Uma vez corretamente parametrizadas as interfaces e suas respectivas tags, a interface Modbus passa a realizar a coleta automática dos dados, promovendo sua formatação e envio ao servidor PI. Isso possibilita o acompanhamento das variáveis em tempo real durante o experimento, além de permitir sua posterior visualização e análise nas etapas seguintes do projeto.

Observação: informações adicionais sobre as interfaces Modbus, seus parâmetros de configuração e definição de tags podem ser encontradas em OSISOFT (2016).

RESULTADOS

Com o objetivo de investigar a possível existência de uma relação matemática entre a temperatura interna e a temperatura da superfície externa da isolamento do enrolamento, foram realizados ensaios preliminares. Esses testes

utilizaram um enrolamento destinado ao descarte e foram conduzidos sem aplicação de tensão elétrica, possibilitando sua perfuração para instalação de termopares e, conseqüentemente, a medição direta da temperatura interna. Esses valores foram posteriormente comparados às temperaturas superficiais obtidas por meio da câmera termográfica.

Para que a câmera realizasse medições confiáveis, foi necessário definir pontos na superfície com elevada emissividade. Assim, cinco regiões ao longo da lateral do enrolamento foram selecionadas e recobertas com fita isolante, cujo índice de emissividade é próximo de 1. Por meio da interface web da câmera, foram configuradas cinco áreas de monitoramento, cada uma correspondente a um desses pontos. Para cada área, a câmera fornecia os valores de temperatura máxima, mínima e média.

Com a finalidade de garantir maior correspondência entre as leituras internas e externas, as perfurações destinadas à instalação dos termopares foram realizadas exatamente nos pontos previamente recobertos com fita isolante.

Os cinco termopares foram conectados a entradas analógicas distintas do módulo FieldLogger, configuradas para termopar tipo K. O transdutor de corrente também foi ligado a uma entrada analógica do mesmo módulo, parametrizada para sinal de corrente na faixa de 4 a 20 mA. As medições da câmera estavam disponíveis via Modbus TCP/IP e, com o uso do FieldLogger, as leituras dos termopares e do transdutor de corrente também passaram a ser acessíveis pelo mesmo protocolo.

Todos os dados coletados foram transmitidos e armazenados no servidor PI. Adicionalmente, o CLP foi programado para ler as temperaturas medidas pelos termopares e utilizá-las no controle do experimento.

Inicialmente, a corrente induzida foi ajustada para 600 A, sendo realizados ciclos de aquecimento e resfriamento natural, ou seja, sem o acionamento do sistema de ventilação. Observou-se que os tempos de aquecimento e resfriamento apresentaram diferenças significativas, conforme ilustrado na Figura 6. Entretanto, a norma estabelece que as durações das etapas de aquecimento e resfriamento devem ser semelhantes e que a taxa de variação de temperatura deve situar-se entre 1,5 °C/min e 3,5 °C/min. Diante disso, optou-se por utilizar o sistema de resfriamento para reduzir o tempo de resfriamento e diminuir a

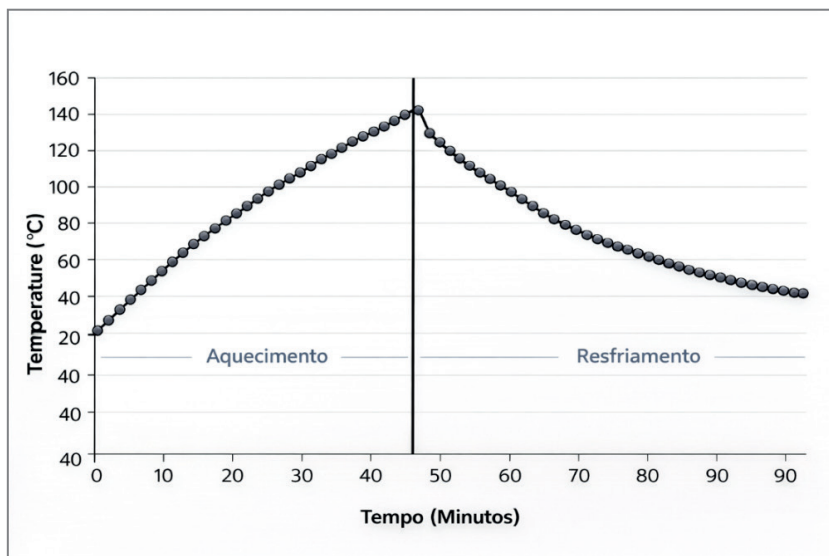
corrente induzida para tornar o aquecimento mais lento, adequando o ensaio aos requisitos normativos.

Após o ajuste dos tempos correspondentes às etapas de aquecimento e resfriamento, foram executados diversos ciclos experimentais com o objetivo de avaliar o comportamento da variação térmica ao longo do ensaio.

Tendo em vista que a distância entre os pontos de medição é reduzida, aproximadamente 30 cm, quando comparada ao processo de propagação de calor no material, espera-se uma variação de temperatura relativamente uniforme entre os cinco pontos monitorados. Essa uniformidade pode ser observada nos gráficos apresentados nas Figuras 7 e 8.

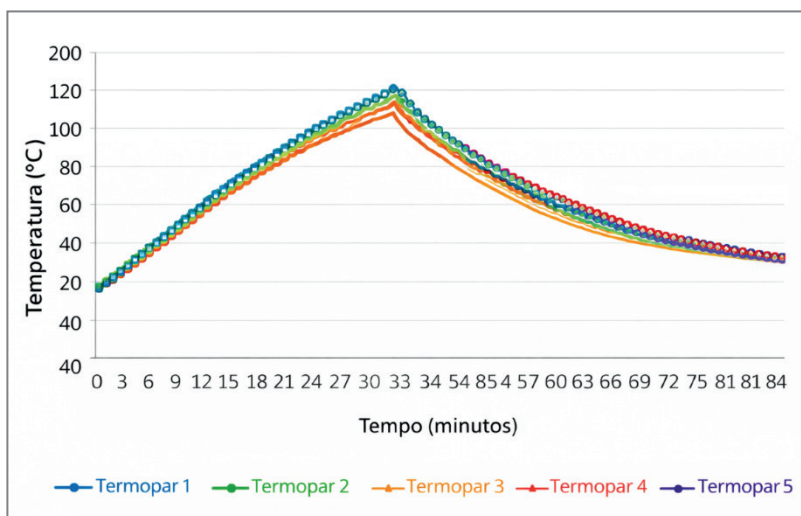
Dessa forma, optou-se por utilizar a média das temperaturas medidas pelos termopares e a média das temperaturas máximas registradas nas áreas de monitoramento da câmera térmica. A Figura 9 apresenta a comparação gráfica entre essas médias, bem como a diferença entre elas, representada pelo delta. Observa-se que o valor do delta sofre variações significativas em função do nível de temperatura, porém mantém comportamento semelhante entre os diferentes ciclos térmicos analisados.

Figura 6 - Temperatura do enrolamento registrado pelo Termopar 1 para um ciclo térmico.



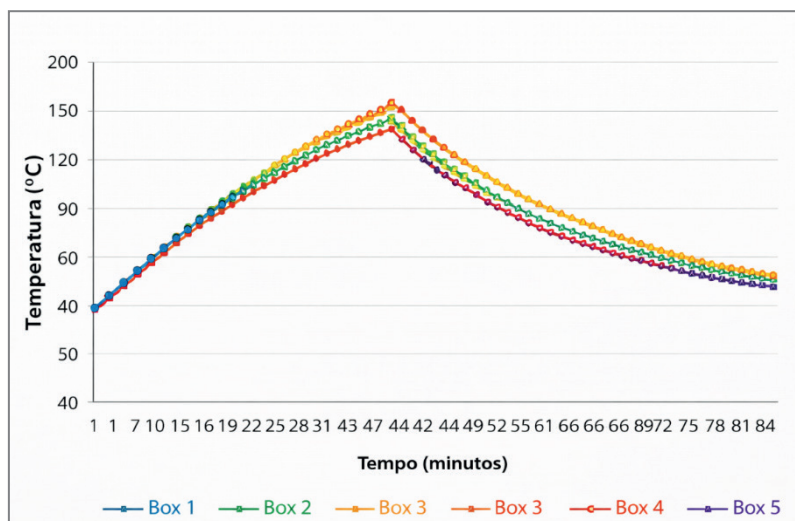
Fonte: Autoria Própria (2026).

Figura 7 - Leitura de um ciclo térmico para todos os termopares.



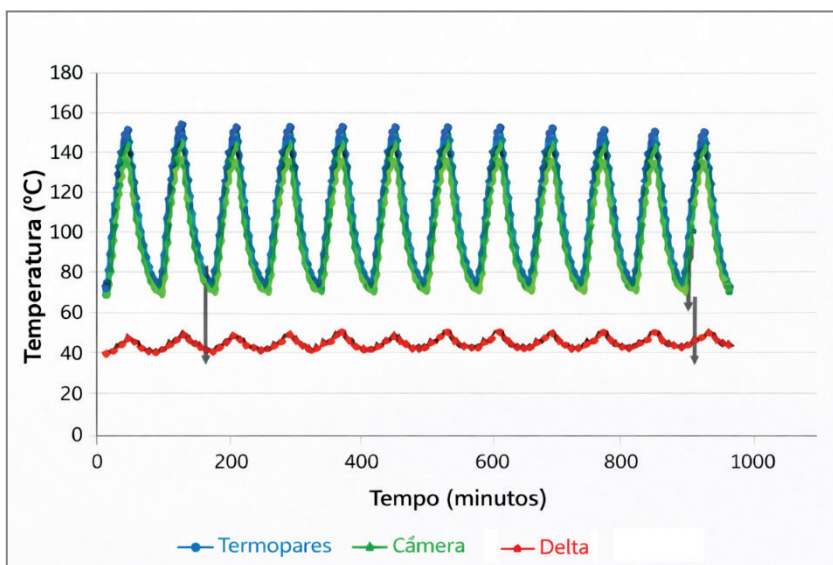
Fonte: Autoria Própria (2026).

Figura 8 - Temperaturas máximas nas cinco áreas de monitoramento (Box) da câmera térmica . A partir dos dados obtidos em múltiplos ciclos térmicos, torna-se possível determinar os instantes de término das etapas de aquecimento e resfriamento. Com esses pontos identificados, procede-se à comparação entre as temperaturas máximas e mínimas registradas pela câmera térmica e pelos termopares, bem como à avaliação da diferença entre essas medições, representada pelo delta.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Figura 9 - Comparação entre as médias das temperaturas obtidas.



Fonte: Autoria Própria (2026).

Essa análise possibilita estabelecer a correspondência entre as temperaturas superficiais e as temperaturas internas de referência, especificamente 40 °C e 155 °C. As Tabelas 2 e 3 apresentam a comparação entre as temperaturas internas, medidas pelos termopares, e as temperaturas na superfície externa, obtidas pela câmera, além do respectivo delta, considerando os instantes finais dos ciclos de aquecimento e resfriamento.

Observa-se que, ao final do ciclo de resfriamento, a temperatura média registrada apresentou uma diferença de aproximadamente 5 °C em relação ao valor alvo de 40 °C. De forma semelhante, o delta também variou cerca de 5 °C. Assim, para que a temperatura interna atinja 40 °C, a temperatura medida na superfície externa deve estar em torno de 35 °C.

Nos ciclos de aquecimento, por sua vez, o desvio em relação ao valor de referência foi da ordem de apenas 0,5 °C. Dessa forma, para determinar a temperatura superficial correspondente à temperatura interna de 155 °C, basta considerar o delta médio, aproximadamente 15 °C.

Com base nesses resultados, adotam-se como equivalentes às temperaturas internas de 40 °C e 155 °C os valores de 35 °C e 140 °C medidos na

superfície externa, respectivamente. Esses valores passam, portanto, a definir os limites inferior e superior de operação no experimento com aplicação de tensão.

Tabela 3 - Pontos de Término do Ciclo de Resfriamento.

Tempo de ciclo	Termopar	Câmera	Delta
16-fev-18 11:10:17	42,68982	39,79946	2,890359
16-fev-18 12:38:00	43,8972	38,34757	5,549628
16-fev-18 14:11:13	42,79444	39,23395	3,56049
16-fev-18 15:40:09	44,74939	39,38378	5,36561
16-fev-18 17:14:13	43,06484	38,81601	4,248834
16-fev-18 18:38:10	47,54771	41,24996	6,29775
16-fev-18 20:02:00	44,81488	39,02382	5,791061
16-fev-18 21:24:14	46,44759	41,3007	5,317521
16-fev-18 22:49:46	44,29579	40,54376	3,752026
17-fev-18 00:12:00	46,09599	39,43432	6,661666
Média	44,63976	39,69627	4,943495

Fonte: Autoria Própria (2026).

Tabela 3 - Pontos de Término do Ciclo de Aquecimento.

Tempo de Ciclo	Termopar	Câmera	Delta
16-fev-18 10:15:10	155,141	141,7434	13,39763
16-fev-18 11:41:25	155,0252	136,0973	18,92789
16-fev-18 13:16:30	155,2739	138,0295	17,2444
16-fev-18 14:44:53	155,0615	138,0957	16,96576
16-fev-18 16:18:18	155,4462	137,7332	17,71306
16-fev-18 17:51:05	154,8871	139,706	15,18109
16-fev-18 19:17:00	155,4285	140,3953	15,03315
16-fev-18 20:43:26	155,4088	140,8044	14,6044
16-fev-18 22:05:01	155,4391	141,1161	14,323
16-fev-18 23:29:30	154,8928	142,1631	12,72967
Média	155,2004	139,5884	15,61201

Fonte: Autoria Própria (2026).

Ensaio de ciclo Térmico com tensão aplicada

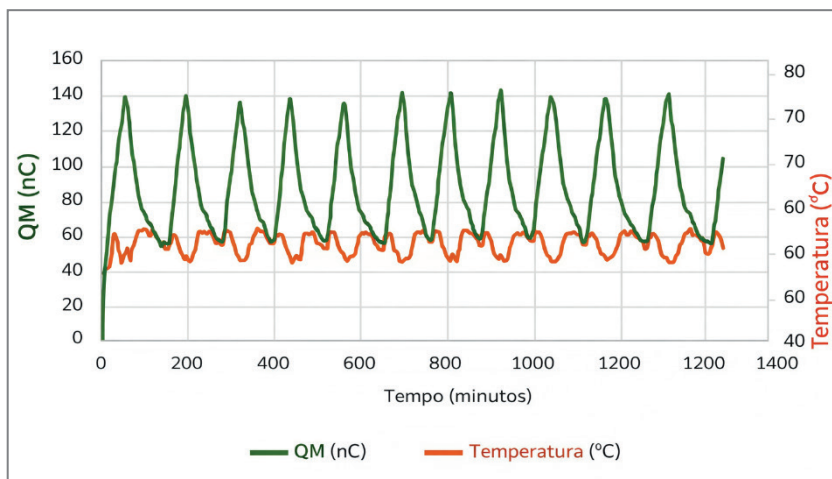
No ensaio com tensão aplicada, a medição de temperatura é realizada exclusivamente na superfície externa, por meio da câmera térmica. Assim,

utiliza-se a correlação estabelecida na Seção anterior para estimar a temperatura interna do sistema.

Dessa forma, o CLP necessita das temperaturas fornecidas pela câmera para controlar o experimento. Entretanto, o mapeamento de endereços Modbus das câmeras AX8 utiliza endereços com seis dígitos, o que inviabiliza a comunicação direta entre o CLP e a câmera. Como solução, foi implementada uma interface PI para leitura e escrita via Modbus Ethernet. Essa interface grava, em cinco registradores do CLP (um para cada região de medição da câmera), os valores máximos das caixas, sempre que novos dados são recebidos das tags de monitoramento.

Após a implementação desses ajustes, tornou-se possível realizar os ciclos térmicos com tensão aplicada, acompanhando simultaneamente a ocorrência de descargas parciais.

Um ensaio encontra-se em execução, e a Figura 10 apresenta resultados preliminares, correlacionando a temperatura da superfície externa com a magnitude das descargas parciais.



DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios preliminares evidenciam que a diferença entre as temperaturas interna e superficial não se mantém constante ao longo do ciclo térmico, apresentando comportamento crescente com o aumento da temperatura. Esse padrão indica que os mecanismos de transferência de calor

no sistema de isolamento são influenciados pelas condições térmicas impostas, possivelmente em função de variações na condutividade térmica efetiva do material, gradientes térmicos mais acentuados e intensificação dos processos convectivos na superfície externa. O crescimento do delta de aproximadamente 5 °C para 15 °C ao longo da faixa analisada sugere um regime térmico não linear, coerente com o comportamento esperado para sistemas submetidos a elevadas solicitações térmicas.

Além disso, a repetibilidade observada entre os diferentes ciclos indica consistência experimental e estabilidade do sistema de aquisição de dados. A baixa dispersão nos ciclos de aquecimento, em especial, reforça a confiabilidade da metodologia empregada para controle térmico. Esses aspectos são fundamentais para assegurar que a correlação estabelecida possa ser utilizada com segurança nos ensaios com tensão aplicada, nos quais a medição direta da temperatura interna não é viável.

CONCLUSÃO

Após a instalação e parametrização adequada de todos os equipamentos e softwares envolvidos, foi possível conduzir ensaios preliminares que confirmaram a existência de uma correlação entre as temperaturas interna e superficial ao longo do ciclo térmico. Verificou-se que a diferença entre essas medições é da ordem de 5 °C quando a temperatura interna se encontra em 40 °C, aumentando gradualmente até aproximadamente 15 °C quando a temperatura interna atinge valores próximos de 155 °C.

Essa correlação viabiliza a execução dos ensaios de ciclo térmico com aplicação de tensão conforme proposto. A bancada experimental demonstrou operar de forma automatizada e estável, possibilitando o monitoramento remoto e em tempo real por meio do PI System. Como continuidade do trabalho, prevê-se o desenvolvimento de um sistema de notificações via e-mail ou mensagens para dispositivos móveis, com o objetivo de informar o status operacional da bancada, além da realização de análises aprofundadas dos dados obtidos, considerando o envelhecimento progressivo do enrolamento ao longo dos ciclos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CEMIG pela parceria e por todo o apoio no projeto “Proposta de uma Abordagem para Diagnóstico e Avaliação da Vida Útil de Geradores”, do qual este trabalho faz parte, bem como à AVEVA pela parceria e pelo suporte nas questões relacionadas ao PI System.

REFERÊNCIAS

BARTNIKAS, R.; MORIN, R. Analysis of multistress-accelerated aged stator bars using a three-phase test arrangement. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 2006.

STONE, G.; CULBERT, I.; BOULTER, E. A.; DHIRANI, H. **Electrical insulation for rotating machines**. New Jersey: IEEE Press, 2014.

STONE, G.; LLOYD, B.; SEDDING, H.; GUPTA, B. The ability of diagnostic tests to estimate the remaining lifetime of stator winding insulation. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 1988.

KOKKO, V. I. J. Electrical ageing in lifetime estimation of hydroelectric generator stator windings. //: **XIX International Conference on Electrical Machines**, 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std. 1310: IEEE recommended practice for thermal cycle testing of form-wound stator bars and coils for large rotating machines**. New York: IEEE Power and Energy Society, 2012.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std. 1434: IEEE guide to the measurement of partial discharges in rotating machinery**. New York: IEEE Power Engineering Society, 2000.

KELMANN, F.; KAUFHOLD, M. Evaluation analysis of thermal ageing in insulation systems of electrical machines: a historical review. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 2010.

MORIN, R.; BARTNIKAS, R. Multistress aging of stator bars in a three-phase model stator under load cycling. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 2012.

OSISOFT. **PI interface for Modbus Ethernet PLC 4.2**. San Leandro: OSIsoft, 2016.

CIGRÉ. Study Committee SC 11. **Hydrogenerator failures: results of the survey**. Paris: CIGRÉ, 2003.

SUMEREDER, C. Statistical lifetime of hydro generators and failure analysis. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, 2008.

A IMPORTANCIA DA EDUCAÇÃO IMOBILIARIA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM CRITICA A PARTIR DE KARL POPPER

Alexandre Balbino

Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)

RESUMO

A falta de conhecimento sobre regularização imobiliária tem impacto direto na segurança jurídica e no desenvolvimento urbano sustentável. Este artigo propõe a introdução da educação imobiliária no ensino fundamental, fundamentando-se no pensamento crítico de Karl Popper, que enfatiza o aprendizado baseado na identificação e correção de erros¹. Utilizando revisão bibliográfica e uma abordagem qualitativa, o estudo demonstra como o ensino de conceitos básicos de posse, propriedade e regularização pode formar cidadãos mais preparados para evitar problemas relacionados à informalidade fundiária.

Palavras-chave: Educação imobiliária; ensino fundamental; Karl popper; regularização fundiária; cidadania.

¹ POPPER, Karl. A Sociedade Aberta e Seus Inimigos. p. 243.

INTRODUÇÃO

O ditado popular “Quem casa quer casa” reflete um desejo universal: ter um lar seguro e regularizado. No entanto, no Brasil, milhões de pessoas vivem em imóveis sem documentação, o que compromete seu direito à moradia digna, impede o acesso a crédito e gera insegurança jurídica ².

Esse problema não se limita às camadas mais vulneráveis da sociedade, mas se espalha por diversas regiões, afetando desde comunidades de baixa renda até empreendimentos de alto padrão que, por diversas razões, operam à margem da legalidade.

Segundo dados do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional³, aproximadamente metade dos imóveis no Brasil apresenta alguma forma de irregularidade, sendo a falta de escritura a mais comum. Essa realidade compromete não apenas a segurança jurídica dos proprietários, mas também o desenvolvimento urbano sustentável, pois dificulta o planejamento de infraestrutura e serviços públicos essenciais.

De acordo com informações fornecidas pela Secretaria de Estado da Assistência Social, Trabalho e Habitação de Santa Catarina, presentes no plano de expansão estadual para Regularização Fundiária, estima-se que aproximadamente 117 mil residências no estado não possuem a devida Regularização Fundiária⁴.

Historicamente, o contexto legislativo tem sido um obstáculo para que os cidadãos possam adquirir terras de forma legal. Desde o sistema sesmarial na época colonial até as sucessivas tentativas de regularização nos dias atuais, o Brasil enfrenta desafios para garantir que a população tenha acesso a imóveis devidamente legalizados. Muitas transações ocorrem informalmente,

² Metade dos Imóveis no Brasil possui algum tipo de irregularidade. <https://cnbce.org.br/metade-dos-imoveis-no-brasil-possui-alguma-irregularidade/>. Acessado em 16 de março de 2025.

³ Veja Negócios. Como o Brasil virou destaque mundial em irregularidades imobiliárias. [https://veja.abril.com.br/coluna/real-estate/como-o-brasil-virou-destaque-mundial-em-irregularidades-imobiliarias#:~:text=Cerca%20de%2050%25%20dos%20im%C3%B3veis,de%20domic%C3%ADlios%20urbanos%20no%20pa%C3%ADs](https://veja.abril.com.br/coluna/real-estate/como-o-brasil-virou-destaque-mundial-em-irregularidades-imobiliarias#:~:text=Cerca%20de%2050%25%20dos%20im%C3%B3veis,de%20domic%C3%ADlios%20urbanos%20no%20pa%C3%ADs.). Acessado em 09 de fevereiro de 2025.

⁴ SECRETARIA DE ESTADO DA ASSISTÊNCIA SOCIAL, TRABALHO E HABITAÇÃO. DIRETORIA DE HABITAÇÃO. Programa Lar Legal. Plano de expansão estadual para regularização fundiária: 2013 – Disponível em: http://amavi.org.br/sistemas/pagina/setores/planejamentoterritorial/arquivos/2013/PLANOde_Expansao_para_Regularizacao_Fundiaria_para_divulgacao.pdf Acesso em 17 de março de 2025.

perpetuando a marginalização fundiária e dificultando a implementação de políticas urbanas eficientes⁵.

A Agenda 2030 da ONU, por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11⁶, reforça a importância da regularização fundiária como instrumento essencial para garantir cidades mais inclusivas, seguras e sustentáveis. Essa meta global destaca a necessidade de um planejamento urbano que garanta moradia digna para todos e promova a integração social por meio da segurança na posse e no uso do solo.

Além da valorização patrimonial, a regularização de imóveis proporciona maior acesso a linhas de financiamento, investimentos e infraestrutura, contribuindo para o crescimento econômico local. Como destaca Danilo Almeida⁷, especialista na área imobiliária, “um imóvel regularizado e registrado no Cartório de Registro de Imóveis tem, em média, um valor de mercado 35% maior do que um imóvel irregular”. Esse fator demonstra a relevância da legalização tanto para os indivíduos quanto para a economia das cidades.

Diante desse cenário, surge a educação imobiliária como ferramenta essencial para preparar cidadãos mais conscientes sobre seus direitos e deveres relacionados à posse e propriedade. Desde o ensino fundamental, as crianças devem ser incentivadas a compreender a importância da regularização fundiária e os impactos da informalidade imobiliária na vida urbana.

Ao discutirmos sobre “educação imobiliária”, inevitavelmente entramos no campo do Direito Imobiliário, como bem apontado por Washington Carlos de Almeida⁸: “O Direito Imobiliário disciplina as relações jurídicas que tem por objeto os bens imóveis, sendo que as incorporações imobiliárias constituem uma especialidade notória do Direito Imobiliário”.

⁵ CUNHA, Michely Freire Fonseca. **Manual de regularização fundiária urbana**. 2021. p. 53.

⁶ ALMEIDA, Washington Carlos de. **Direito Imobiliário**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 1.

⁷ ALMEIDA, Danilo. **Quatro motivos para regularizar seu imóvel**. Disponível em: www.jusbrasil.com.br/artigos/quatro-motivos-para-regularizar-seu-imovel/1502266143. Acessado em 04 de março de 2025.

⁸ Seja Relevante. Entenda o ODS 11 e sua importância para o bem estar social. Disponível em: https://sejarelevant.te.fdc.org.br/entenda-o-ods-11-e-a-sua-importancia-para-o-bem-estar-social/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAwaG9BhAREiwAdhv6YwbbgrleOsmVnZf5jkMGEesBZY7tOD501frmccoIwIQpWCHTEtLOuRoCdNoQAvD_BwE, acessado em 09 de fevereiro de 2025.

Ainda na definição de Rubens Limongi França, o Direito Imobiliário: “é o mesmo que o direito sobre bens imóveis. Complexo de normas que rege a propriedade imóvel. Compreende não só os direitos de propriedade, mas todo e qualquer direito sobre coisa material que se considere imóvel⁹.

E ainda como diz Hercules Aghiarian¹⁰:

O Direito Imobiliário, por sua vez, mantém sua natureza essencialmente privada, uma vez que é o ramo que aglutina as diversas relações jurídicas e conflitos que decorrem da propriedade, seja quanto a sua afeição maior, o domínio, se quanto aos aspectos registrais, de sucessão, de família, de locação, de cerceamento do direito de construir ou ao modo de simplesmente comercializarem-se dos bens que a lei ou a tradição consideram imóveis. Como gostamos de expressar, o Direito Imobiliário é o direito da coisa em movimento, em interação efetiva.

A ausência desse tema na grade curricular escolar contribui para a perpetuação de problemas fundiários. A falta de conhecimento sobre os processos de legalização de imóveis gera uma sociedade despreparada para lidar com questões imobiliárias e urbanísticas, reforçando a desigualdade social e a precariedade habitacional.

A partir do pensamento crítico de Karl Popper, que enfatiza o aprendizado baseado na identificação e correção de erros, este artigo propõe a introdução da educação imobiliária no ensino fundamental. A abordagem visa demonstrar como a construção do conhecimento sobre posse, propriedade e regularização pode contribuir para a formação de cidadãos mais responsáveis, preparados para evitar problemas futuros e para atuar na construção de uma sociedade mais justa e organizada.

A metodologia¹¹ utilizada neste estudo baseia-se em pesquisa qualitativa e revisão bibliográfica, analisando a importância da educação imobiliária no contexto social e urbano.

⁹ FRANÇA, Rubens Limongi. Enciclopédia Saraiva do Direito. São Paulo: Saraiva, 1977. p.172.

¹⁰ AGHIARIAN, Hercules. Curso de Direito Imobiliário. São Paulo: Atlas, 2012. p. 20.

¹¹ PASOLD, Cesar Luiz. Metodologia da pesquisa jurídica: Teoria e prática. p. 209.

A partir dessa reflexão, pretende-se destacar a necessidade de uma abordagem pedagógica inovadora que introduza noções fundamentais sobre o tema nas escolas, preparando as futuras gerações para uma relação mais consciente e responsável com o espaço urbano.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

EDUCAÇÃO CRÍTICA

Karl Popper defendia que o conhecimento avança por meio da tentativa e erro, onde hipóteses são testadas e, se falhas forem encontradas, são corrigidas. Esse modelo pode ser aplicado à educação imobiliária, estimulando o pensamento crítico dos alunos sobre o tema.

A implementação de uma educação baseada na pedagogia crítica tem como objetivo primordial formar indivíduos críticos, conscientes de seus direitos e responsabilidades, e que não se deixam dominar por uma cultura de opressão. Pessoas mais instruídas, especialmente no campo imobiliário, contribuem para tornar as cidades mais acolhedoras e progressistas.

Neste contexto, é relevante mencionar o que diz Wayne Au¹², com relação a uma educação libertadora de Paulo Freire, com o fim de transformar a realidade das pessoas:

[...] a pedagogia libertadora de Freire [...] gira em torno de uma ideia central de „práxis“¹ (ação consciente) em que os estudantes e professores tornam-se sujeitos que sabem ver a realidade, refletir criticamente sobre a realidade e assumir uma ação transformadora para mudar essa realidade.

A introdução da educação imobiliária no ensino fundamental pode seguir essa lógica, incentivando crianças e adolescentes a identificar problemas urbanos, questionar a informalidade imobiliária e buscar soluções.

¹² AU, Wayne. Lutando com o texto: contextualizar e recontextualizar a pedagogia crítica de Freire. 2011. p. 251.

EDUCAÇÃO IMOBILIÁRIA E CIDADANIA

A educação tem papel fundamental na formação cidadã, e a inclusão da educação imobiliária no currículo escolar pode gerar impactos positivos. O conhecimento sobre posse e propriedade contribui para a construção de uma sociedade mais consciente dos seus direitos e deveres.

Além disso, a falta de informação sobre regularização fundiária perpetua desigualdades, dificultando o acesso de famílias a financiamentos e programas habitacionais. Ensinar esses conceitos desde cedo pode ajudar a reduzir esse problema.

Apesar da crítica que Popper fez a sociedade idealizada por Platão¹³, vejamos o que este diz a respeito da importância da educação nos ensinamentos fundamentais:

Assim, para se criar uma cidade ideal, deve-se investir na educação das crianças, para formarem caráter com as mais belas virtudes que se espera dentro de uma sociedade, com justiça, que busca esforçadamente a verdade e que assim, possa o Estado estar servido na sua grande maioria de pessoas que buscam os mesmos valores, pois o Estado deve estar ocupado por pessoas que buscam a perfeição.

A relação entre o ensino fundamental e a cidadania é indissociável, uma vez que a educação desempenha um papel essencial na capacitação dos cidadãos para o exercício de seus direitos e o cumprimento de seus deveres.

É fascinante abordar no presente artigo a obra do renomado escritor e especialista em mercado imobiliário, Marcus Araujo¹⁴. Em seu livro direcionado ao público infantil, “Meu imóvel, meu mundo Kids”, Araujo ressalta a crescente importância que as famílias atribuem, nos dias de hoje, à opinião das crianças na escolha do imóvel ideal. O autor ressalta a relevância de instruir sobre as definições de construtora e incorporadora, as diversas carreiras no ramo imobiliário, a seleção criteriosa de imóveis sustentáveis durante a construção. Além

¹³ PLATÃO. República. Tradução Maria Helena da Rocha Pereira. p. 291.

¹⁴ PRADO, Paula Maria. Marcus Araujo: a voz das crianças no mercado imobiliário. Disponível em: <https://habitability.com.br/marcus-araujo-a-voz-das-criancas-no-mercado-imobiliario>. Acessado em 16 de fevereiro de 2025.

disso, aborda os tributos incidentes sobre propriedades, orienta sobre como acionar as autoridades competentes e estabelecer diálogos construtivos com os síndicos de condomínios residenciais.

A geração Alpha, composta por crianças nascidas a partir de 2010, está crescendo em um mundo digitalmente conectado, onde a informação circula rapidamente. Isso impacta diretamente suas expectativas e, conseqüentemente, as decisões de moradia de seus pais. Portanto, é essencial que a educação imobiliária seja incluída no currículo do ensino fundamental, a fim de preparar melhor as futuras gerações para lidar com esse tema de forma mais consciente e informada.

Conforme bem pontua Philip Kotler¹⁵:

Uma pesquisa do Google revela que 90% de nossas interações com a mídia passaram a ser facilitadas por telas: de smartphone, tablet, laptop e televisão. As telas estão se tornando tão importantes em nossas vidas que passamos mais de quatro horas de nosso tempo diário de lazer usando várias telas de modo sequencial e simultâneo. E a internet tem sido a espinha dorsal dessas interações baseadas em telas.

Conforme reforça Frederico O. Lima¹⁶: “é importante destacar que a tecnologia computacional veio para ficar e que a mesma abriu um novo mundo de oportunidades antes inexistentes [...]”.

É um fato incontestável que as crianças de hoje são muito diferentes das de gerações passadas. Com o acesso ilimitado às diversas ferramentas digitais disponíveis, os jovens têm contato com uma infinidade de informações. Por isso, torna-se essencial o uso de ferramentas interativas para promover a educação imobiliária para esse público.

As inovações tecnológicas revolucionaram a forma como as pessoas se comunicam, permitindo uma circulação de informações sem precedentes. O surgimento

¹⁵ KOTLER, Philip; KARTAJAYA, Hermawan; SETIAWAN, Iwan. Marketing 4.0: Do tradicional ao digital. Rio de Janeiro: Sextante. 2017. p. 26. Edição do Kindle.

¹⁶ LIMA, Frederico O. A sociedade digital: impacto da tecnologia na sociedade, na cultura, na educação e nas organizações. 2000. p. 43.

do telefone celular e da internet marcou uma mudança sociocultural sem precedentes, eliminando as barreiras que antes limitavam a comunicação humana¹⁷.

Conforme destaca Guy Perelmuter¹⁸:

Todos esses movimentos trouxeram implicações fundamentais para as formas de interação entre os diversos elementos das cadeias produtivas, impactando não apenas a economia, mas também a sociedade, a política, a filosofia, a cultura e a ciência.

É de extrema relevância para o progresso da cidadania a inserção da educação imobiliária no currículo do ensino fundamental. Tal iniciativa visa fornecer conhecimentos sobre habitação, urbanismo e a necessidade de promover um ambiente sustentável e acolhedor.

O ensino fundamental é uma etapa crucial da educação básica no Brasil, com uma duração de nove anos. É imprescindível que todas as crianças com idades entre 6 e 14 anos estejam devidamente matriculadas. A responsabilidade pela matrícula nessa faixa etária é compartilhada entre a família ou responsáveis, o Estado para garantir vagas nas escolas públicas e a sociedade para garantir o cumprimento dessa obrigatoriedade¹⁹.

É fundamental adequar a maneira como a informação é comunicada de acordo com o nível escolar e a faixa etária dos alunos. Nos primeiros anos, é crucial concentrar-se na alfabetização e no aprimoramento das habilidades cognitivas, motoras e sociais. Já nos anos finais do ensino fundamental, é essencial valorizar a autonomia e o protagonismo dos estudantes. Esses aspectos serão abordados com mais detalhes no tópico 4 deste artigo.

¹⁷ LIMA, Frederico O. A sociedade digital: impacto da tecnologia na sociedade, na cultura, na educação e nas organizações. 2000. p. 41.

¹⁸ PERELMUTER, Guy. Futuro presente. Companhia Editora Nacional. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2019. Edição do Kindle.

¹⁹ Ensino Fundamental no Brasil. https://pt.wikipedia.org/wiki/Ensino_fundamental_no_Brasil#:~:text=1%C2%AA%20s%C3%A9rie%20%3D%202%C2%BA%20ano,4%C2%AA%20s%C3%A9rie%20%3D%205%C2%BA%20ano. Acesso em 16 de março de 2025.

A IMPORTÂNCIA DA REGULARIZAÇÃO IMOBILIÁRIA

A informalidade no mercado imobiliário afeta uma grande parcela da população brasileira, gerando entraves para o desenvolvimento urbano e econômico do país. Alguns dos principais impactos da falta de regularização incluem a dificuldade de acesso a crédito, a insegurança jurídica e o déficit de infraestrutura.

Proprietários de imóveis sem documentação enfrentam obstáculos para obter financiamento para reformas e melhorias, além de correrem o risco de se envolverem em disputas judiciais por falta de registro formal da propriedade. Além disso, áreas não regularizadas frequentemente sofrem com a falta de investimentos públicos em infraestrutura, já que governos tendem a priorizar locais legalmente reconhecidos para a destinação de recursos.

A regularização fundiária é essencial para garantir a segurança e o desenvolvimento das cidades, promovendo um ambiente urbano mais organizado e sustentável. O processo de regularização vai além da mera legalização de documentos; ele envolve a integração das áreas irregulares ao ordenamento urbano, proporcionando acesso a serviços básicos como saneamento, iluminação, transporte e segurança pública.

IMPACTOS DA IRREGULARIDADE IMOBILIÁRIA

A questão da informalidade imobiliária remonta aos primórdios da formação do Brasil. Desde o período colonial, com as capitanias hereditárias e o sistema de sesmarias, até a promulgação da Lei de Terras de 1850, a distribuição desigual das propriedades sempre foi um fator de segregação social.

Conforme aponta Vitor Frederico Kumpel²⁰, o direito à moradia sempre foi um desafio no Brasil, intensificando-se a partir da década de 1930, com o crescimento das cidades e a falta de políticas habitacionais eficazes. Esse problema não se limita apenas às comunidades de baixa renda, mas também afeta empreendimentos de médio e alto padrão que, muitas vezes, operam em desconformidade com a legislação urbanística vigente.

²⁰ SILVA, José M. Tossi; KUSTER, Percy José Cleve. REURB: Do caos a dignidade da teoria a pratica. 2024. p. 3.

A informalidade imobiliária gera impactos negativos em diversas áreas:

- **Econômico:** Imóveis sem registro têm menor valor de mercado e não podem ser utilizados como garantia para financiamentos. Isso dificulta o acesso ao crédito e impede investimentos em melhorias habitacionais;
- **Social:** A insegurança jurídica prejudica famílias que podem perder seus imóveis por falta de documentação, além de dificultar o acesso a programas habitacionais;
- **Ambiental:** A ocupação desordenada do solo contribui para problemas ambientais, como desmatamento, risco de deslizamentos e contaminação de mananciais, já que áreas irregulares frequentemente não seguem padrões adequados de planejamento urbano.

A Lei 13.465/2017²¹, que regulamenta a regularização fundiária urbana (REURB), trouxe avanços significativos ao simplificar procedimentos burocráticos e permitir que prefeituras e governos estaduais implementem programas de legalização de imóveis de forma mais ágil. No entanto, o desconhecimento da população sobre essas oportunidades ainda é um dos principais entraves para a efetivação da regularização em larga escala.

O PAPEL DA EDUCAÇÃO IMOBILIÁRIA NA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA

Para combater a informalidade imobiliária, não basta apenas criar legislações ou oferecer programas de regularização. É fundamental que a população compreenda a importância de manter seus imóveis dentro da legalidade e saiba como proceder para regularizá-los.

A educação imobiliária no ensino fundamental surge como um instrumento poderoso para essa transformação. Ao ensinar desde cedo conceitos básicos sobre posse, propriedade e documentação, forma-se uma geração mais consciente e preparada para lidar com questões fundiárias no futuro.

²¹ KUSTER, Percy José Cleve. REURB: Do caos a dignidade da teoria a pratica. 2024. p. 4.

Ensinar crianças e adolescentes sobre a importância da regularização imobiliária pode ter impactos duradouros, pois esses estudantes crescerão compreendendo o valor de um imóvel legalizado, incentivando suas famílias a buscarem soluções para situações de irregularidade. Além disso, a educação imobiliária pode preparar os futuros profissionais do mercado imobiliário e do setor público, garantindo que tenham um conhecimento mais aprofundado sobre o funcionamento das leis e dos procedimentos de regularização.

Outro aspecto relevante é a relação entre a regularização fundiária e a cidadania. Quando um imóvel é legalizado, seu proprietário passa a ter direitos plenos sobre ele, podendo vendê-lo, alugá-lo ou utilizá-lo como garantia em operações financeiras. Isso fortalece a economia local e proporciona mais segurança para as famílias.

Segundo Luiz Antônio Scavone Junior²²:

Portanto, o registro e a tradição atuam como meio de publicidade da titularidade de direitos reais. Em razão da publicidade atribuída pelo registro, o titular de um direito real passa a ter a prerrogativa de opor, a quem quer que seja, o seu direito, que recai, assim, sobre toda a coletividade.

O avanço da urbanização não está sendo acompanhado pelo progresso adequado da infraestrutura essencial, tais como escolas, postos de saúde, transporte público e espaços públicos. A ausência de investimentos pode acarretar em impactos negativos para a cidade a longo prazo, transformando-se em um ônus ao invés de um ativo²³.

A educação imobiliária pode ajudar a prevenir esses problemas, conscientizando as novas gerações sobre a importância da regularização.

²² SCAVONE JUNIOR, Luiz Antônio. **Direito imobiliário**: teoria e prática. 2020. p. 53.

²³ SOUZA, Marcus Vinícius Mariano de. **Cidades médias apresentam crescimento desordenado**. Disponível em: <https://www.beiradorio.ufpa.br/2019/110A-149-junho-e-julho/exclusivo-online/331-cidades-medias-apresentam-crescimento-desordenado>. Acessado em 04 de março de 2025.

PROPOSTAS PARA INSERÇÃO NO ENSINO FUNDAMENTAL

A educação básica no Brasil abrange o ensino fundamental, que normalmente vai dos 06 aos 14 anos de idade das crianças. Dividido em duas fases distintas, o ensino fundamental 1 e 2 apresentam diferenças significativas. Durante essas etapas, os alunos têm contato com disciplinas de linguagens, ciências humanas, exatas e biológicas, que são aprofundadas ao longo do tempo e revisadas no ensino médio.

O ensino fundamental 1 engloba as séries do 1º ao 5º ano, atendendo crianças de 6 a 10 anos, enquanto o ensino fundamental 2 abrange as séries do 6º ao 9º ano, voltadas para adolescentes de 11 a 14 anos.

O primeiro ano do ensino fundamental é dedicado à alfabetização das crianças, enquanto os anos seguintes desta etapa visam o desenvolvimento cognitivo, social e motor dos alunos. Disciplinas como língua portuguesa, matemática, ciências, história, geografia e educação artística são abordadas em sala de aula. Ao chegar ao último ano do ensino fundamental 1 (5º ano), os estudantes já possuem um conhecimento mais amplo e interação mais com os professores, assumindo novas responsabilidades, como tarefas de casa mais desafiadoras.

O ensino fundamental 2 marca a entrada dos estudantes na adolescência, sendo obrigatório o ensino do idioma inglês como disciplina curricular, além de estudos sobre a história afro-brasileira e indígena. Disciplinas como química e física são introduzidas na grade curricular dos alunos, geralmente a partir do 8º ano. É nesse período que os alunos começam a se preparar para o ensino médio, cumprindo uma carga horária anual de 800 horas.

O aprendizado sobre propriedade e regularização imobiliária deve ser conduzido de maneira didática e acessível, respeitando as diferentes faixas etárias. Para os anos iniciais do ensino fundamental, atividades lúdicas e narrativas educativas podem introduzir noções básicas sobre moradia e território. Já para os anos finais, debates e estudos de casos podem estimular a análise crítica e a busca por soluções para problemas reais enfrentados pelas comunidades.

Aqui estão algumas sugestões de atividades que podem ser adaptadas para diferentes faixas etárias e classes do ensino fundamental, visando abordar o tema de moradia e propriedade de forma lúdica e educativa:

- **Para o Ensino Fundamental I:** Propor atividades lúdicas e contação de histórias que abordem o tema de moradia e propriedade, de forma a despertar o interesse e a curiosidade das crianças;
- **Para o Ensino Fundamental II:** Promover debates sobre cidadania e o direito à moradia, além de estudar casos reais de regularização fundiária para ampliar o entendimento dos alunos sobre o assunto;
- **Projetos interdisciplinares:** Incentivar a integração com disciplinas como geografia, história e matemática, explorando temas como planejamento urbano e cálculo de áreas de terrenos, de forma a enriquecer o aprendizado dos estudantes de maneira interativa e dinâmica;
- **Campanhas de conscientização:** Informar a população sobre a importância da regularização por meio de escolas, mídias sociais e programas comunitários pode aumentar a adesão a programas de regularização;
- **Parcerias público-privadas:** Empresas do setor imobiliário podem colaborar com governos para desenvolver projetos que facilitem o acesso à regularização fundiária.

Experiências internacionais mostram que a inclusão de noções básicas de direito e economia no ensino fundamental melhora a consciência cidadã. No Brasil, iniciativas municipais poderiam implementar projetos-piloto para avaliar o impacto dessa abordagem.

CONCLUSÃO

A educação imobiliária no ensino fundamental pode ser uma ferramenta poderosa para reduzir a informalidade fundiária e promover o desenvolvimento sustentável das cidades. Baseando-se na teoria crítica de Karl Popper, o ensino dessa temática pode estimular nos alunos uma visão mais questionadora e responsável sobre o espaço urbano.

A educação primária desempenha um papel fundamental na formação de indivíduos éticos e competentes em diversas áreas. Para além do aprendizado teórico e prático, é essencial que as aulas incentivem a autonomia e o respeito ao próximo.

A adoção de políticas públicas que incentivem essa abordagem pode trazer benefícios a longo prazo, formando cidadãos mais preparados para lidar com os desafios da moradia e da regularização imobiliária.

A educação imobiliária no ensino fundamental pode ser uma ferramenta poderosa para reduzir a informalidade fundiária e promover o desenvolvimento sustentável das cidades. Baseando-se na teoria crítica de Karl Popper, o ensino dessa temática pode estimular nos alunos uma visão mais questionadora e responsável sobre o espaço urbano.

A inclusão desse conhecimento nos currículos escolares não se trata apenas de ensinar aspectos técnicos da posse e propriedade, mas de formar cidadãos mais conscientes de seus direitos e deveres. Compreender a importância da regularização fundiária desde cedo pode impactar diretamente na organização das cidades, na valorização dos imóveis e na redução de conflitos jurídicos. Além disso, permite que as futuras gerações participem ativamente de políticas públicas e iniciativas comunitárias voltadas à habitação e ao planejamento urbano.

A adoção de políticas públicas que incentivem essa abordagem pode trazer benefícios a longo prazo, formando cidadãos mais preparados para lidar com os desafios da moradia e da regularização imobiliária. Além disso, parcerias entre escolas, prefeituras e instituições do setor imobiliário podem viabilizar projetos educacionais inovadores, que complementem o ensino tradicional e ofereçam suporte para a compreensão do tema.

É fundamental destacar que a regularização imobiliária não se restringe apenas à legalização de propriedades, mas está diretamente ligada a direitos humanos básicos, como moradia digna e acesso a infraestrutura. Nesse sentido, garantir que a população tenha conhecimento sobre os processos legais e burocráticos que envolvem a posse e propriedade de imóveis é um passo essencial para uma sociedade mais justa e equitativa.

Portanto, investir na educação imobiliária desde o ensino fundamental não é apenas uma questão de conscientização, mas de transformação social. Cidades mais organizadas, cidadãos mais informados e uma maior segurança jurídica são apenas alguns dos inúmeros benefícios que essa iniciativa pode proporcionar.

Cabe, assim, aos gestores públicos, educadores e especialistas na área trabalharem juntos para tornar essa proposta uma realidade, garantindo que as futuras gerações estejam mais preparadas para construir um futuro urbano sustentável e acessível para todos.

REFERÊNCIAS

AGHIARIAN, Hercules. Curso de Direito Imobiliário. São Paulo: Atlas, 2012. p. 20. AGHIARIAN, Hercules. Curso de Direito Imobiliário. São Paulo: Atlas, 2012. p. 20.f.

ALMEIDA, Washington Carlos de. **Direito Imobiliário**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

ALMEIDA, Danilo. **Quatro motivos para regularizar seu imóvel**. Disponível em: www.jusbrasil.com.br/artigos/quatro-motivos-para-regularizar-seu-imovel/1502266143. Acessado em 04 de março de 2025.

AU, Wayne. **Lutando com o texto**: contextualizar e recontextualizar a pedagogia crítica de Freire. //n: APPLE, Michael W; AU, Wayne; GANDIN, Luís A. Educação crítica: análise internacional. Porto Alegre: Artmed, 2011.

CUNHA, Michely Freire Fonseca. **Manual de regularização fundiária urbana**. 2 ed. rev. ampl. São Paulo: JusPodivm, 2021.

FRANÇA, Rubens Limongi. Enciclopédia Saraiva do Direito. São Paulo: Saraiva, 1977. v.27.

LIMA, Frederico O. A sociedade digital: impacto da tecnologia na sociedade, na cultura, na educação e nas organizações. 2000. p. 43.

Metade dos Imóveis no Brasil possui algum tipo de irregularidade. <https://cnbce.org.br/metade-dos-imoveis-no-brasil-possui-alguma-irregularidade/>. Acessado em 16 de março de 2025.

PLATÃO. **Republica**. Tradução Maria Helena da Rocha Pereira. 9. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbbenkian, 2001.

PERELMUTER, Guy. Futuro presente. Companhia Editora Nacional. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2019. Edição do Kindle.

POPPER, Karl. **A Sociedade Aberta e Seus Inimigos**. 1ª edição. São Paulo: Editora Itatiaia, 1974. (Publicação original: 1945)

PRADO, Paula Maria. Marcus Araujo: a voz das crianças no mercado imobiliário. Disponível em: <https://habitability.com.br/marcus-araujo-a-voz-das-criancas-no-mercado-imobiliario>. Acessado em 16 de fevereiro de 2025.

SCAVONE JUNIOR, Luiz Antônio. **Direito Imobiliário**: teoria e prática. 15 ed. Rio de Janeiro: Forense, 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DA ASSISTÊNCIA SOCIAL, TRABALHO E HABITAÇÃO. DIRETORIA DE HABITAÇÃO. Programa Lar Legal. Plano de expansão estadual para regularização fundiária: 2013 – Disponível em: http://amavi.org.br/sistemas/pagina/setores/planejamentoterritorial/arquivos/2013/PLANode_Expansao_para_Regularizacao_Fundiaria_para_divulgacao.pdf Acesso em 17 de março de 2025.

SEJA RELEVANTE. Entenda o ODS 11 e sua importância para o bem estar social. Disponível em: https://sejarelevante.fdc.org.br/entenda-o-ods-11-e-a-sua-importancia-para-o-bem-estar-social/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAwaG9BhAREiwAdhv6YwbBgRIeOsmVnZf5jkMGEesBZY7tOD501frmccoIwIQpWCHTEtLOuRoCdNoQAvD_BwE, acessado em 09 de fevereiro de 2025.

SOUZA, Marcus Vinicius Mariano de. **Cidades médias apresentam crescimento desordenado**. Disponível em: <https://www.beiradorio.ufpa.br/2019/110A-149-junho-e-julho/exclusivo-online/331-cidades-medias-apresentam-crescimento-desordenado>. Acessado em 04 de março de 2025.

KOTLER, Philip; KARTAJAYA, Hermawan; SETIAWAN, Iwan. Marketing 4.0: Do tradicional ao digital. Rio de Janeiro: Sextante. 2017. p. 26. Edição do Kindle.

Veja Negócios. Como o Brasil virou destaque mundial em irregularidades imobiliárias. <https://veja.abril.com.br/coluna/real-estate/como-o-brasil-virou-destaque-mundial-em-irregularidades-imobiliarias#:~:text=Cerca%20de%2050%25%20dos%20im%C3%B3veis,de%20domic%C3%ADlios%20urbanos%20no%20pa%C3%ADs>. Acessado em 09 de fevereiro de 2025.

KUSTER, Percy José Cleve. REURB: Do caos a dignidade da teoria a pratica. 2 ed. São Paulo: YK Editora, 2024.

EFEITO DA LAMA DE REJEITOS MINERÁRIOS SOBRE FRAGMENTOS FLORESTAIS RIPÁRIOS: UM ESTUDO DE CASO TEMPORAL NA ESCALA DE PAISAGEM AO LONGO DE 18 ANOS

Ana Carolina Martins Rocha

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Orlando Vitor Vital

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

RESUMO

O presente estudo avaliou, em escala de paisagem, os efeitos do rompimento da barragem de Fundão sobre a cobertura vegetal de florestas ripárias ao longo de 18 anos. A análise foi realizada em dois fragmentos florestais localizados às margens do rio Gualaxo do Norte, em Mariana, Minas Gerais, diretamente afetados pela passagem dos rejeitos. Foram utilizadas imagens Landsat entre 2006 e 2023 para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Em cada fragmento, foram definidos dois transectos: um próximo ao curso d'água e outro afastado 30 m da margem. As variações temporais do NDVI foram avaliadas por ANOVA com medidas repetidas, considerando o efeito dos anos, da distância em relação ao rio e sua interação. Os resultados indicaram redução abrupta do NDVI após o desastre, especialmente em 2016, com respostas distintas entre fragmentos e transectos. No fragmento 1, a maior redução ocorreu próximo ao rio, enquanto no fragmento 2 a recuperação foi mais limitada. Embora tenha sido observada recuperação parcial dos valores de NDVI nos anos subsequentes, os padrões indicam que a retomada da reflectância vegetal não representa, necessariamente, plena recuperação ecológica. Assim, o monitoramento contínuo é essencial para avaliar a restauração estrutural, funcional e florística dessas áreas.

Palavras-chave: Geoprocessamento; mineração; floresta estacional semidecidual; ndvi; recuperação florestal.

INTRODUÇÃO

Em novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em Mariana (MG), um dos maiores desastres da mineração mundial (Vale + BHP Billiton) (ANA, 2016). O rompimento liberou cerca de 39,2 milhões de m³ de rejeitos de mineração, diretamente na bacia hidrográfica do Rio Doce, alcançando mais de 600 km da jusante até a foz do Rio Doce e o Oceano Atlântico (Marta-Almeida *et al.* 2016; Golder Associates 2017; Santana *et al.*, 2021). Dado o seu imenso volume, os rejeitos de minério inundaram a vegetação ripária (Aires *et al.*, 2018, SOS Mata Atlântica *et al.*, 2017) o que suprimiu cerca de 565 ha de florestas totalizando uma perda de volume de madeira estimada em 120.000 m³ (LACTEC, 2021). Durante a passagem da lama, a maior parte da perda florestal se concentrou nas margens dos fragmentos florestais e esse efeito se concentrou ao longo dos 74 km iniciais a partir da Barragem de Fundão até a usina hidroelétrica de Barra longa que represou grande parte do rejeito (Omachi *et al.*, 2018; Schaefer *et al.* 2016; Silva *et al.* 2016).

É importante pontuar que essa grande área de vegetação ripária atingida pelos rejeitos de mineração executava funções ecológicas cruciais para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres na bacia do Rio Doce. Dentre essas funções se destacam o controle da erosão e estabilização das margens, regulação do fluxo hídrico e filtragem de sedimentos e poluentes (Dosskey *et al.*, 2010; Singh; Singh, 2019). Assim, se torna crucial do ponto de vista de conservação mensurar o grau de redução dessa cobertura vegetal e principalmente mensurar a sua possível regeneração após o desastre. Já sabemos que tanto a diversidade de plantas emergentes do banco de sementes (Paz *et al.* 2025), quanto às árvores (Figueiredo *et al.*, 2022), sofreram uma severa redução de diversidade em florestas ripárias atingidas pelo rejeito. No entanto, infelizmente, não é de nosso conhecimento estudos que demonstraram o efeito do desastre sobre a cobertura vegetal de matas ripárias na escala de paisagem.

Índices de vegetação obtidos por meio de imagens de satélite já são largamente utilizados para mensurar cobertura vegetal na escala de paisagem (Li *et al.*, 2021, Almalki *et al.*, 2022; Lu e Batistella, 2005; Lu *et al.*, 2012; Popescu *et al.*, 2004; Riano *et al.*, 2003; Sarker; Nichol, 2011; Soenen *et al.*, 2010; Tsui *et al.*, 2012; Xie; Sha; Yu, 2008). Dentre esses, o Índices de Vegetação por Diferença

Normalizada (NDVI) é um dos mais utilizados (Yengoh *et al.*, 2015 Sahebjalal *et al.*, 2013; Xue; Su, 2017). Esse índice é baseado nas respostas espectrais emitidas pela vegetação que geram valores de "esverdeamento" (Huang *et al.*, 2021; Xue; Su, 2017). Esses valores estão positivamente associados com a biomassa vegetal acima do solo e por isso são boas medidas de cobertura vegetal (Xue; Su, 2017; Zhu; Liu, 2015). Ademais, um dos potenciais mais poderosos do NDVI é obter imagens em séries temporais permitindo que se compare a cobertura florestal do passado com o presente (Xue; Su, 2017; Zhu; Liu, 2015). Dessa forma, dada a natureza temporal do rompimento da barragem de Fundão, o NDVI se mostra uma ferramenta ideal para avaliar o grau de redução da cobertura vegetal e, principalmente, para mensurar o nível de regeneração florestal das matas ripárias afetadas.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo estimar, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), os efeitos do rompimento da barragem de Fundão sobre a cobertura vegetal de matas ripárias em escala de paisagem. Especificamente, buscou-se: i) quantificar a redução da cobertura vegetal após a passagem do rejeito; e ii) avaliar o grau de recuperação da vegetação oito anos após o desastre. Para isso, utilizou-se a variação temporal do NDVI em dois fragmentos florestais às margens do rio Gualaxo do Norte, comparando transectos próximos e afastados do rio ao longo do período de 2006 a 2023).

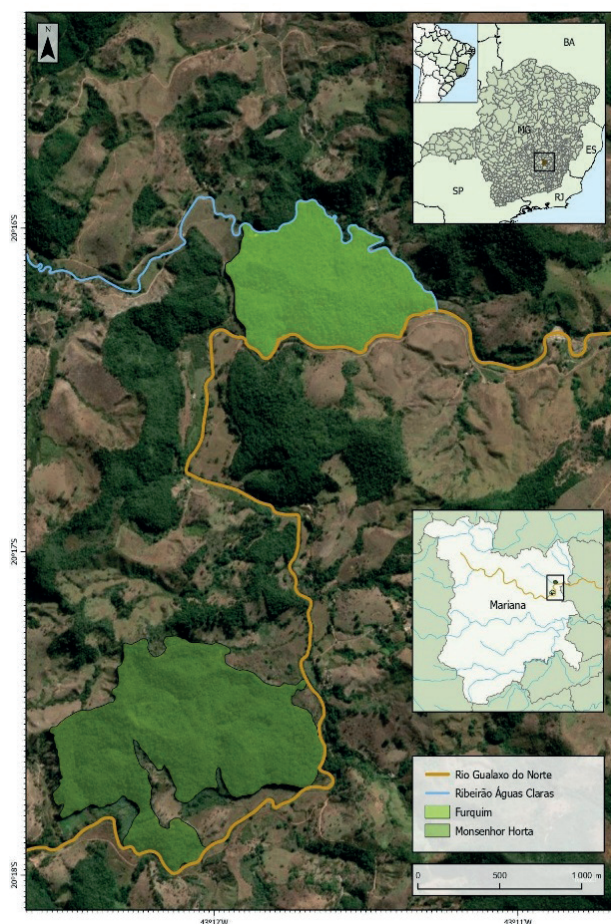
MÉTODOS

Área amostral

Foram selecionados fragmentos florestais às margens de tributários, diretamente afetados pelo rejeito de mineração de ferro oriundo da Barragem do Fundão, no município de Mariana, em pontos diferentes do rio Gualaxo do Norte, situada na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Figura 1). Foram analisados dois fragmentos foram analisados: fragmento florestal 1, no distrito de Furquim (20°16'17"S, 43°11'36"W), e fragmento florestal 2, no distrito de Monsenhor Horta (20°17'38"S, 43°12'04"W). Esses fragmentos se enquadram na fitofisionomia de floresta estacional semidecidual (IBGE, 2012). Segundo a classificação de

Köppen, o clima da área é Cwa e Cwb, subtropical úmido com seca no inverno e verão de quente a temperado, com precipitação anual de 1200 mm (Cupolillo; Abreu; Vianello, 2008). O regime pluviométrico caracteriza-se por dois períodos distintos: o chuvoso, de outubro a março, com grandes índices no mês de dezembro; e o seco, que se estende de abril a setembro, com estiagem crítica de junho a agosto (ECOPLAN-LUME, 2010). A bacia do rio Doce acompanha a pluviosidade, com cheias nos meses de dezembro, janeiro e março e as secas nos meses de agosto e setembro (Coelho, 2007).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo nos distritos de Furquim (fragmento 1) e Monsenhor Horta (fragmento 2), município de Mariana, Minas Gerais, Brasil. O curso do rio Gualaxo do Norte está destacado em laranja e o ribeirão Águas Claras em azul.



Fonte: Elaborado por Orlando Vítor Vital.

Obtenção e processamento das imagens de satélite

Foram utilizadas imagens anuais de reflectância de superfície dos sensores Landsat, correspondentes aos fragmentos localizados nos distritos de Furquim e Monsenhor Horta, no município de Mariana (MG), no período de 2006 e 2023. As cenas foram selecionadas preferencialmente entre agosto e setembro, período de menor interferência por cobertura de nuvens e coincidente com a estação seca regional. Para a série temporal, empregadas imagens Landsat 5 TM no período de 2006 a 2012 e Landsat 8/9 OLI no período posterior. Para 2013-2023 (USGS – US and Geological Survey, 2020a, USGS – US and Geological Survey, 2020b). O cálculo do NDVI foi realizado a partir das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respeitando a correspondência espectral de cada sensor utilizado. As imagens foram processadas em ambiente SIG, com recorte dos fragmentos e extração dos valores de NDVI nos pixels correspondentes aos transectos amostrados.

Índice de vegetação

O NDVI é baseado na razão entre a absorção máxima na região da banda espectral do Vermelho (R) e a máxima reflexão da radiação na banda espectral do infravermelho próximo (NIR). O NDVI foi calculado seguindo a equação $(NIR - Red) / (NIR + Red)$, com as taxas de reflectância entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Pettorelli *et al.*, 2005a; Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979). Os valores de NDVI variam entre -1 e +1; valores mais altos indicam maior vigor/coertura da vegetação, enquanto valores próximos de zero ou negativos tendem a representar solo exposto, água ou áreas com baixa atividade fotossintética (Lyon *et al.*, 1998; Zhu; Woodcock, 2014). Após a definição dos valores de NDVI, foram estabelecidos dois transectos, e selecionados os pixels (30 x 30 m) de **interesse, sendo um transecto exatamente na margem do fragmento com o rio (transecto 1 localizado adjacente ao rio) e outro paralelo a esse para dentro da mata (transecto 2 localizado a 30 metros do rio)**. Ambos os transectos apresentam 60 pixels de 30 m em linha correspondem a 1.800 m de extensão linear; a área por pixel é 900 m², correspondendo a 54.000 m² por transecto, sem sobreposição.

Análises estatísticas

A análise dos dados foi estruturada para avaliar dois aspectos principais da resposta da vegetação ripária ao rompimento da barragem de Fundão: a redução imediata da cobertura vegetal após a passagem do rejeito e o grau de recuperação da vegetação oito anos após o desastre. Para isso, a série temporal de NDVI foi organizada considerando três momentos principais: o período pré-desastre, correspondente aos anos de 2006 a 2014; o ano de 2016, considerado como referência para o efeito pós-impacto imediato; e o ano de 2023, utilizado para avaliar a recuperação da vegetação oito anos após o rompimento. Inicialmente, foram calculadas as médias anuais de NDVI para cada transecto em cada fragmento. A análise dos dados foi estruturada para avaliar dois aspectos principais da resposta da vegetação ripária ao rompimento da barragem de Fundão: a redução imediata da cobertura vegetal após a passagem do rejeito e o grau de recuperação da vegetação oito anos após o desastre. Para isso, a série temporal de NDVI foi organizada em três momentos ecológicos principais: período pré-desastre, correspondente aos anos de 2006 a 2014; pós-impacto imediato, representado pelo ano de 2016; e recuperação, representada pelo ano de 2023.

Inicialmente, foram calculadas as médias anuais de NDVI para cada transecto em cada fragmento, a fim de descrever a variação temporal completa entre 2006 e 2023. Em seguida, a média do período pré-desastre foi utilizada como referência para estimar a redução do NDVI em 2016 e o grau de recuperação em 2023. A redução e a recuperação foram expressas tanto em valores absolutos quanto em variação percentual em relação à média pré-desastre de cada transecto.

Para testar se a dinâmica temporal do NDVI diferiu entre os transectos próximos e afastados do rio, foram ajustados modelos lineares mistos separadamente para cada fragmento. Em cada modelo, o NDVI foi utilizado como variável resposta, enquanto a proximidade ao rio, o período e a interação entre proximidade e período foram considerados como efeitos fixos. O identificador dos pixels foi incluído como efeito aleatório, a fim de considerar a dependência entre medições repetidas realizadas nos mesmos pontos ao longo da série temporal.

A interação entre proximidade ao rio e período foi utilizada para avaliar se os transectos próximos e afastados apresentaram trajetórias distintas de variação do NDVI entre o período pré-desastre, o pós-impacto imediato e o período de recuperação. Quando identificados efeitos significativos, foram realizadas comparações múltiplas entre os períodos dentro de cada transecto, utilizando médias marginais estimadas e ajuste de Bonferroni para controle do erro tipo I.

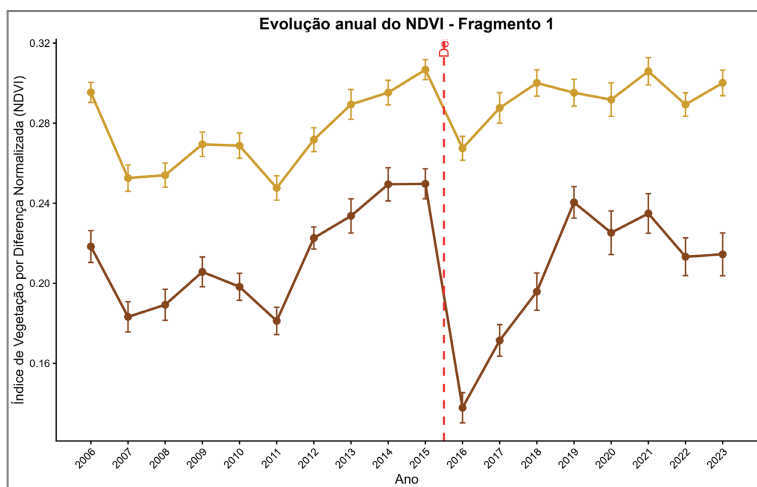
As análises estatísticas foram conduzidas no software R, versão 4.4, utilizando os pacotes *lme4* e *lmerTest* para ajuste dos modelos lineares mistos e obtenção dos testes de significância, e o pacote *emmeans* para as comparações múltiplas entre períodos. As representações gráficas foram elaboradas com o pacote *ggplot2*. Em todas as análises, foi adotado nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Análise de NDVI

No Fragmento 1, os valores médios de NDVI apresentaram variação temporal distinta entre os transectos próximo e afastado do rio (Fig. 2). A série temporal entre 2006 e 2023 evidenciou que o transecto afastado do rio manteve valores médios de NDVI superiores ao transecto próximo ao rio durante todo o período analisado. No entanto, a diferença mais expressiva entre os transectos ocorreu no período imediatamente posterior ao rompimento da barragem, em 2016, quando o transecto próximo ao rio apresentou uma queda acentuada no NDVI médio. O modelo linear misto indicou efeito significativo da proximidade ao rio sobre os valores de NDVI no frag. 1 ($F = 213,526$; $p < 0,001$), demonstrando diferenças médias entre os transectos próximo e afastado.

Figura 2 - Variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio no Fragmento 1 entre 2006 e 2023, considerando áreas próximas e afastadas do rio Gualaxo do Norte.



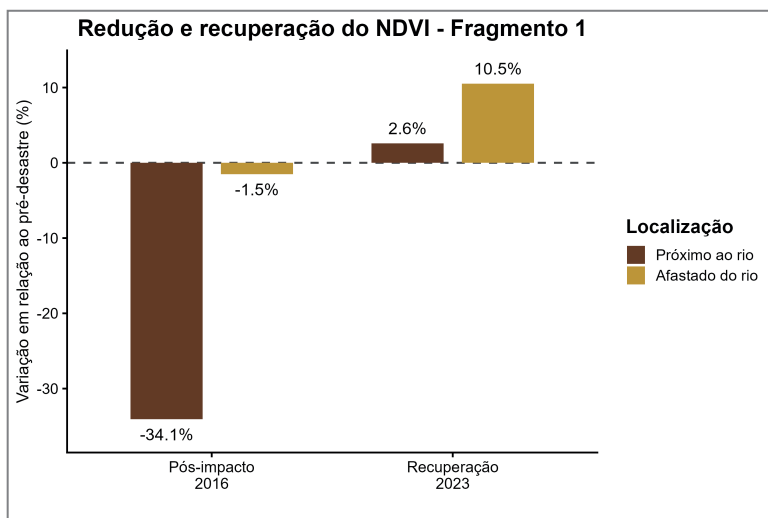
Legenda: A linha tracejada vermelha indica o período posterior ao rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 2015. As barras de erro representam o erro padrão da média.

A comparação entre os períodos indica que os valores de NDVI diferiram significativamente entre o período pré-desastre, o pós-impacto imediato e o período de recuperação ($F = 36,841$; $p < 0,001$). Assim como a interação entre proximidade e período ($F = 23,713$; $p < 0,001$), evidenciando que a trajetória temporal do NDVI não foi semelhante entre os dois transectos. A comparação dos valores em relação à média pré-desastre reforça esse padrão (Fig. 3).

No transecto próximo ao rio, o NDVI médio passou de 0,209 no período pré-desastre para 0,138 em 2016, representando uma redução de 34,1% após o desastre. Em contraste, o transecto afastado passou de 0,272 no período pré-desastre para 0,267 em 2016, equivalente a uma queda de apenas 1,5%. Esse resultado indica que a redução imediata da cobertura vegetal foi mais intensa na área adjacente ao curso d'água. Em 2023, oito anos após o rompimento, o transecto próximo ao rio apresentou NDVI médio de 0,214, valor 2,6% superior à média pré-desastre. Esse resultado sugere recuperação dos valores médios de NDVI em relação à condição anterior ao desastre. No transecto afastado, o NDVI médio em 2023 foi de 0,300, representando aumento de 10,5% em relação à média pré-desastre. Assim, apesar dos transectos apresentarem valores de

NDVI em 2023 iguais ou superiores à média pré-desastre, a queda observada em 2016 foi substancialmente mais intensa no transecto próximo ao rio.

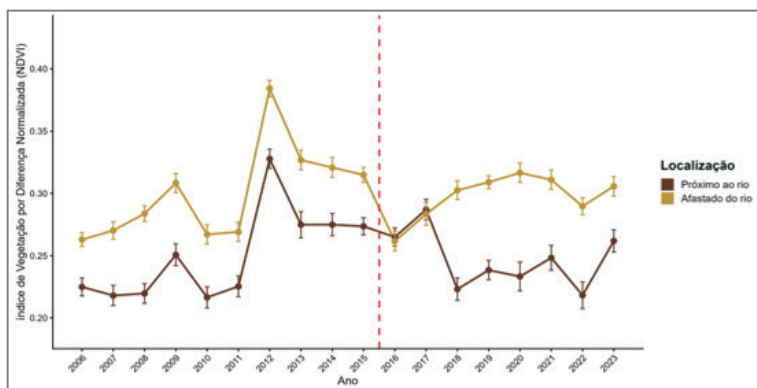
Figura 3 - Variação percentual do NDVI no Fragmento 1 em relação à média pré-desastre, calculada para o período de 2006 a 2014. O ano de 2016 representa o pós-impacto imediato, enquanto 2023 representa a condição de recuperação oito anos após o desastre.



Legenda: Valores negativos indicam redução do NDVI em relação ao período pré-desastre, e valores positivos indicam aumento em relação à condição anterior ao rompimento.

No Fragmento 2, os valores de NDVI também variaram entre os transectos e entre os períodos avaliados (Fig. 4). O modelo linear misto indicou efeito significativo da proximidade ao rio sobre o NDVI ($F = 17,213$; $p < 0,001$), demonstrando diferenças médias entre o transecto próximo e o transecto afastado. Também foi observada variação do NDVI entre o período pré-desastre, o pós-impacto imediato e o período de recuperação ($F = 3,040$; $p = 0,048$). Com significância da interação entre proximidade e período ($F = 9,688$; $p < 0,001$), evidenciando que a trajetória temporal do NDVI diferiu entre os transectos.

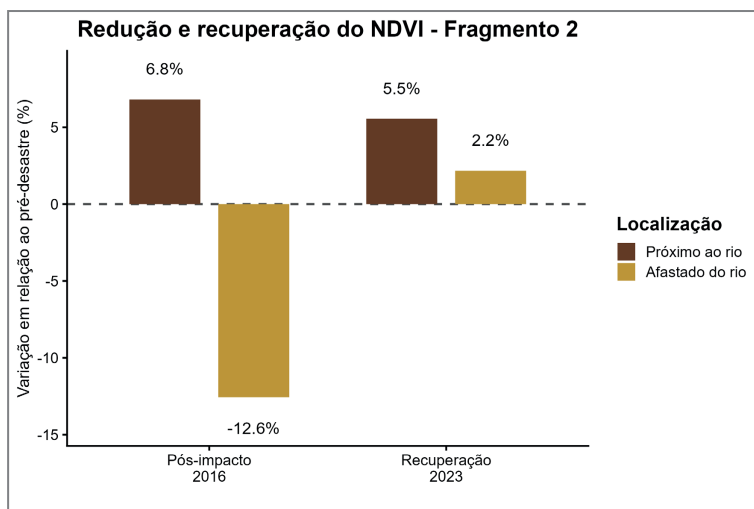
Figura 4 - Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio entre os anos de 2006 e 2023 no fragmento 2 em áreas próximas e afastadas do rio Gualaxo do Norte, no município de Mariana (MG).



Legenda: A linha tracejada vermelha representa o ano do desastre ocorrido em 2015. As barras de erro indicam o desvio-padrão dos valores médios de NDVI.

No transecto próximo ao rio, o NDVI médio ajustado foi de 0,248 no período pré-desastre, 0,265 no pós-impacto imediato e 0,262 no período de recuperação (Fig. 5). As comparações múltiplas não indicaram diferenças significativas entre esses períodos, sugerindo relativa estabilidade do NDVI nesse transecto ao longo dos momentos avaliados. Em contraste, no transecto afastado do rio, o NDVI médio ajustado reduziu significativamente de 0,299 no período pré-desastre para 0,262 no pós-impacto imediato ($p = 0,0001$). Em 2023, o NDVI médio ajustado aumentou para 0,306, sendo significativamente superior ao valor observado no pós-impacto imediato ($p = 0,0005$) e estatisticamente semelhante ao período pré-desastre ($p = 1,000$). Esse padrão indica que, no Fragmento 2, a redução imediata do NDVI foi mais evidente no transecto afastado do rio, seguida por recuperação aos níveis pré-desastre em 2023.

Figura 5 - Variação percentual do NDVI no Fragmento 2 em relação à média pré-desastre (2006–2014), considerando o pós-impacto imediato (2016) e a recuperação oito anos após o desastre (2023).



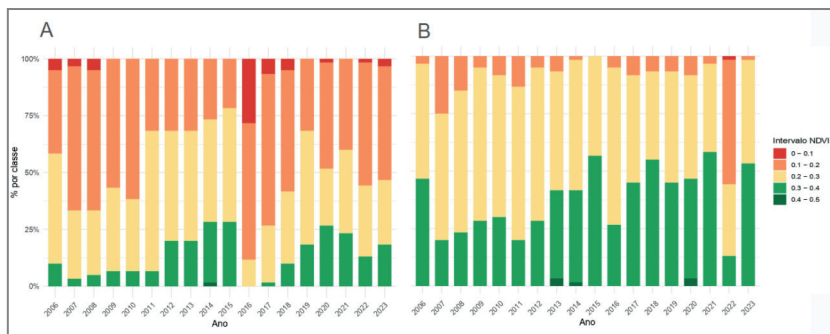
Legenda: Valores negativos indicam redução do NDVI, e valores positivos indicam aumento em relação à condição pré-desastre. A linha tracejada representa variação igual a zero.

Diferentemente do Fragmento 1, em que a queda foi mais acentuada no transecto próximo ao rio, no Fragmento 2 a redução significativa do NDVI ocorreu principalmente no transecto afastado, com posterior recuperação em 2023 para valores semelhantes aos pré-desastre. Os dados demonstram como diferentes fragmentos florestais às margens do rio, ambos impactados pelo mesmo desastre, e relativamente próximos, podem responder de forma distinta aos impactos antrópicos.

Composição percentual

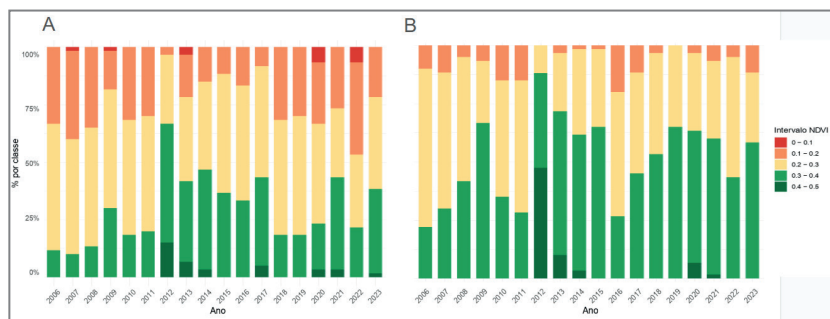
Para análise da composição percentual anual dos valores NDVI, estes foram isolados em intervalos (0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,3; 0,3 - 0,4 e 0,4 - 0,5), e separados os dois transectos, transecto 1 (A), e transecto 2 (B) de cada fragmento (Figura 4 e 5). Os intervalos se distribuem de forma diferente tanto entre os transectos quanto entre os fragmentos. No fragmento 1 (Fig. 6), o transecto 1 é majoritariamente composto por valores entre 0 e 0,3. Enquanto no transecto 2 prevalecem os valores de 0,2 a 0,4.

Figura 6 - Composição percentual anual das classes NDVI correspondentes ao transecto 1 (A), e transecto 2 (B) do fragmento 1.



No fragmento 2 (Fig. 7), antes de 2015 (ano do desastre), observamos que em ambos os transectos predominavam as classes intermediárias de NDVI (0,2-0,3), com menor proporção de áreas com alta vegetação (0,4-0,5). No transecto próximo ao rio (A) houve forte redução das classes de NDVI mais elevadas após o acidente, acompanhada de aumento das classes mais baixas (0,1-0,2), indicando uma diminuição geral da cobertura vegetal nos anos seguintes ao rompimento da barragem. Essa tendência se mantém relativamente constante até 2023, sem recuperação expressiva das classes superiores. Enquanto o transecto mais afastado (B), as classes mais altas (0,3-0,5) permanecem predominantes ao longo de todo o período, mesmo após 2015, apresentando oscilações, mas sem redução significativa.

Figura 7 - Composição percentual anual das classes NDVI correspondentes ao transecto 1 (A), e transecto 2 (B) do fragmento 2.



DISCUSSÃO

O derramamento de lama de rejeitos oriundo da barragem de Fundão, em 2015, provocou alterações expressivas na cobertura vegetal das matas ripárias. Os resultados demonstraram que a resposta vegetal dos fragmentos analisados não foi homogênea, se diferenciando entre os fragmentos e entre a localização dos transectos. Essa heterogeneidade foi evidenciada pela interação significativa entre proximidade ao rio e período nos dois fragmentos, indicando que a dinâmica temporal do NDVI dependeu tanto da posição dos transectos em relação ao curso d'água quanto das características locais de cada fragmento. Quanto à recuperação da vegetação, os valores de NDVI mostram um aumento em seus valores ao longo dos anos, mas ainda demonstram que estão em processo de recuperação.

Os diferentes padrões de respostas dos índices de NDVI entre os transectos e entre os fragmentos, demonstram a elevada heterogeneidade espacial das zonas ripárias, cuja dinâmica é fortemente influenciada por fatores hidrológicos, geomorfológicos, edáficos e pela configuração da paisagem (Dosskey *et al.*, 2010; Graziano; DeGuire; Surasinghe, 2022; Riis *et al.*, 2020). A redução imediata do NDVI mais acentuada no transecto próximo ao rio sugere efeito direto da passagem do rejeito sobre a vegetação adjacente ao curso d'água, provavelmente associado ao soterramento, deposição de sedimentos, remoção parcial da cobertura vegetal e alteração das condições físicas do ambiente ripário. Enquanto a maior estabilidade do transecto afastado demonstra estabilidade estrutural em relação ao impacto imediato, uma vez que os rejeitos se deslocaram preferencialmente pela calha fluvial e pelas áreas marginais, afetando diretamente a vegetação ripária (Aires *et al.*, 2018; Cordeiro *et al.*, 2022).

Essa diferença entre fragmentos indica que a intensidade do impacto não pode ser explicada apenas pela distância ao rio. Em áreas ripárias, variações no relevo e na conectividade lateral com o curso d'água podem modificar os padrões de deposição, escoamento superficial, acúmulo de sedimentos e regeneração da vegetação (Chen *et al.*, 2022; Cordeiro *et al.*, 2022; Dosskey *et al.*, 2010; Fontana *et al.*, 2023). Assim, a resposta da vegetação ripária também depende da configuração local da paisagem e da heterogeneidade ambiental de cada fragmento (Aires *et al.*, 2018; Cordeiro *et al.*, 2022; da Silva Junior *et al.*,

2018). Zonas ripárias são ecótonos entre ambientes terrestres e aquáticos, onde regiões com maior deposição de rejeitos ou sedimentos finos podem apresentar alterações na infiltração de água, na disponibilidade de oxigênio no solo, na estabilidade do substrato, no recrutamento de plântulas e na dinâmica de nutrientes. Por outro lado, áreas menos soterradas ou com maior conectividade com remanescentes florestais podem apresentar recuperação mais rápida da cobertura verde detectada por índices espectrais (Graziano; DeGuire; Surasinghe, 2022; Riis *et al.*, 2020).

O NDVI é um indicador sensível ao vigor fotossintético e à cobertura verde, sendo amplamente utilizado para avaliar alterações espaciais e temporais da vegetação em escala de paisagem (Pettorelli *et al.*, 2005; Xue; Su, 2017). Mas a recuperação dos índices de NDVI observada em 2023 valores de NDVI semelhantes aos do período pré-desastre não demonstram uma recuperação ecológica plena. A recuperação dos valores de reflectância pode ocorrer mais rapidamente do que a recuperação da biomassa, da diversidade de espécies, da estrutura florestal e das interações ecológicas. Estudos realizados em áreas afetadas pelo desastre de Fundão indicam que os efeitos sobre a vegetação e o recrutamento de plantas podem persistir por anos após o rompimento, mesmo quando há sinais aparentes de revegetação (Paz *et al.*, 2025). Dessa forma, os resultados deste estudo indicam sinais de recuperação estrutural da cobertura vegetal, mas não permitem afirmar que houve restauração funcional ou florística completa das matas ripárias afetadas.

Nossos resultados demonstraram que os fragmentos florestais estudados sofreram fortes perdas de cobertura vegetal perderam biomassa e por consequência estoque de carbono (Shen *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2020; Silva Júnior *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2017; De Paula *et al.*, 2011). Considerando esses complexos serviços e funções ecossistêmicas e a extensa degradação do habitat sofrida pelos sistemas lóticos, a comunidade científica já reconheceu amplamente a necessidade de conservação das zonas ripárias (Graziano *et al.*, 2022). É importante frisar que felizmente encontramos recuperação relativamente rápida dos valores de NDVI, mas significa apenas uma retomada nos valores de reflectância da vegetação. O desastre provocou efeitos que ainda

se perpetuam, demonstrando a importância da pesquisa e o monitoramento como uma ferramenta de tomada de decisão.

CONCLUSÃO

O estudo demonstra o potencial do NDVI e das séries temporais Landsat para avaliar os efeitos de grandes perturbações ambientais sobre a cobertura vegetal em escala de paisagem. A análise temporal permitiu identificar tanto a magnitude da redução imediata quanto o grau de recuperação oito anos após o rompimento. Nossos resultados reforçam que, embora haja indícios de recuperação estrutural da vegetação, a restauração funcional e da diversidade florística ainda requer tempo e monitoramento contínuo.

No entanto, recomenda-se que o monitoramento por sensoriamento remoto seja integrado a levantamentos de campo, incluindo composição florística, estrutura da vegetação, regeneração natural, propriedades do solo e indicadores funcionais. Assim, estudos que analisem a recuperação da diversidade taxonômica, genética e funcional dessa vegetação são cruciais para determinar inferir sobre uma plena recuperação ecológica dessas áreas, visto que múltiplas variáveis influenciam o processo de restauração.

Agradecimentos

Agradeço ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento da bolsa de pesquisa, e ao Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO), pelo apoio financeiro ao projeto. Também meus agradecimentos aos colaboradores, instituições parceiras e demais envolvidos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AIRES, U. R. V., SANTOS, B. S. M., COELHO, C. D., SILVA, D. D., CALIJURI, M. L. Mudanças no uso e cobertura do solo em decorrência do rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração em Mariana, MG, Brasil. **Política de Uso do Solo**, 70, p. 63-70. DOI: 10.1016 / j.landusepol.2017.10.026. 2018.

ALMALKI, R., KHAKI, M., SACO, P. M., RODRIGUEZ, J. F. Monitoring and mapping land cover changes in arid and semi-arid areas using remote sensing technology: a review. **Remote Sensing**, 14 (20), p. 5143. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce, Brasília: **Agência Nacional de Água**, 2016. 50 p.

BALESTRINI, R., ARESE, C., DELCONTE, C. A., LOTTI, A., SALERNO, F. Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. **Ecological Engineering**, 37(2), p. 148-157. 2011.

BANNARI, A., ASALHI, H., TEILLET, P. M. Transformed Difference Vegetation Index (TDVI) for vegetation cover mapping. In **IEEE - International Symposium on Geosciences and Remote Sensing**. Vol. 5, p. 3053-3055. 2002.

BARBOSA, M., FIGUEIREDO, JCG, NEGREIROS, D. ET AL. Impacto dos rejeitos de mineração na decomposição do solo e estabilização do carbono em uma mata atlântica ripária. **Discovery Environment** 3, 1p. 52. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00358-9>. 2025.

BEGA, J. M., SALTARELLI, W. A., GÜCKER, B., BOËCHAT, I. G., FINKLER, N. R., CUNHA, D. G. Effects of riparian vegetation restoration and environmental context on ecosystem functioning in tropical streams of southeastern Brazil. **Science of the Total Environment**, 948, 174906. 2024.

BERNAL, S., VON SCHILLER, D., MARTÍ, E., SABATER, F. In-stream net uptake regulates inorganic nitrogen export from catchments under base flow conditions. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 117(G3). 2012.

BERNAL, S., LUPON, A., RIBOT, M., SABATER, F., MARTÍ, E. Riparian and in-stream controls on nutrient concentrations and fluxes in a headwater forested stream. **Biogeosciences**, 12(6), p. 1941-1954. 2015.

BORMA, L. S., COSTA, M. H., DA ROCHA, H. R., ARIEIRA, J., NASCIMENTO, N. C. C., JARAMILLO-GIRALDO, C., ... NOBRE, C. A. Beyond carbon: The contributions of South American tropical humid and subhumid forests to ecosystem services. **Reviews of Geophysics**, 60(4), e2021RG000766. 2022.

BURT, T. P., PINAY, G. Linking Hydrology and Biogeochemistry in Complex Landscapes. **Progress in Physical Geography**, 29(3), p. 297-316. 2005.

CHEN, T., SHU, J., HAN, L., TIAN, G., YANG, G., LV, J. Modeling the effects of topography and slope gradient of an artificially formed slope on runoff, sediment yield, water and soil loss of sandy soil. **Catena**, 212, 106060. 2022.

CORDEIRO, J., GOMES, A. R., SANTOS, C. H. B., RIGOBELLO, E. C., BAPTISTA, M. B., MOURA, P. M., SCOTTI, M. R. Rehabilitation of the Doce River Basin after the Fundação dam collapse: What has been done, what can be done and what should be done? **River Research and Applications**, 38(2), p. 194-208. 2022.

DA SILVA JUNIOR, C. A., COUTINHO, A. D., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., TEODORO, P. E., LIMA, M., SHAKIR, M., ... JOHANN, J. A. Analysis of the impact on vegetation caused by abrupt deforestation via orbital sensor in the environmental disaster of Mariana, Brazil. **Land Use Policy**, 76, p. 10-20. 2018.

DE LIMA, R. A., OLIVEIRA, A. A., PITTA, G. R., DE GASPER, A. L., VIBRANS, A. C., CHAVE, J., ... PRADO, P. I. (2020). The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature communications**, 11(1), p. 6347.

DE PAULA, M. D., COSTA, C. P. A., TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. *Trop. Conservation Science*. 4. 2011.

DE SOUZA NEVES, D., SILVÉRIO, D. V., ROTHE-NEVES, M., FERREIRA, F. F., IORIO, G. S., SPERBER, C. F. Changes in land use dynamics following the Fundão dam collapse in the Doce River Basin, Brazil. *Total Environment Advances*, 12, 200112. 2024.

DOSSKEY, M. G., VIDON, P., GURWICK, N. P., ALLAN, C. J., DUVAL, T. P., LOWRANCE, R. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), p. 261-277. 2010.

ECOPLAN-LUME. Plano Integrado de recursos hídricos no âmbito da Bacia do Rio Doce. Relatório Executivo. **Consórcio Ecoplan-Lume**. 2010.

FERNANDES, G. W., GOULART, F. F., RANIERI, B. D., COELHO, M. S., DALES, K., BOESCHE, N., ... SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, 14(2), p. 35-45. 2016.

FIGUEIREDO, J. C. G., NEGREIROS, D., RAMOS, L., PAIVA, D. C., OKI, Y., JUSTINO, W. S., ... FERNANDES, G. W. Reference sites of threatened riverine Atlantic Forest in upper Rio Doce watershed. *Nature Conservation Research*, 9(1), p. 58-71. 2024.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, v. 16, p. 265–280. 2007.

FISCHER, R., TAUBERT, F., MÜLLER, M. S., GROENEVELD, J., LEHMANN, S., WIEGAND, T., HUTH, A. Accelerated forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. *Science advances*, 7(37), eabg7012. 2021.

FINKLER, N. R., GÜCKER, B., BOËCHAT, I. G., FERREIRA, M. S., TANAKA, M. O., CUNHA, D. G. F. Riparian land use and hydrological connectivity influence nutrient retention in tropical rivers receiving wastewater treatment plant discharge. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 709922. 2021.

FOLKE, C., CARPENTER, S., WALKER, B., SCHEFFER, M., ELMQVIST, T., GUNDERSON, L., HOLLING, C. S. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 557–581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>. 2004.

FONTANA, A., SCHAEFER, C. E., DOS ANJOS, L. H. C., KER, J. C., PEREIRA, M. G., O. SENRA, E., COELHO, R. M. Soils from the Atlantic forest. In *The Soils of Brazil*. p. 195-220. Cham: **Springer International Publishing**. 2023.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Relatório anual. Disponível em < https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2013/05/AF_RA_SOSMA_2016_web.pdf >. **Fundação SOS Mata Atlântica**. 2016.

GERYLO, G. R., HALL, R. J., FRANKLIN, S. E., SMITH, L. Empirical relations between Landsat TM spectral response and forest stands near Fort Simpson, Northwest Territories, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28(1), 68-79. 2002.

GOLDER ASSOCIATES. Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistema de Água e Sedimentos. **Golder Associates**. 2017.

GRAZIANO, M. P., DEGUIRE, A. K., SURASINGHE, T. D. Riparian buffers as a critical landscape feature: insights for riverscape conservation and policy renovations. *Diversity*, 14(3), 172. 2022.

HALL, R. J., SKAKUN, R. S., ARSENAULT, J., CASE, B. S. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. **Forest ecology and management**, 225(1-3), 378-390. 2006.

HOFFMANN, C. C., KJAERGAARD, C., UUSI-KÄMPÄ, J., HANSEN, H. C. B., KRONVANG, B. Phosphorus retention in riparian zones: a review of its efficiency. **Journal Environment Qual.** 38, 1942-1955. doi:10.2134/jeq2008.0087. 2009.

HUANG, S., TANG, L., HUPY, J. P., WANG, Y., SHAO, G. An annotated review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, 32 (1), 1-6. 2021.

INSTITUTOS LACTEC. Relatório de Linha-Base: **Volume I – Meio Físico**. Curitiba, Out/2017. 2017.

ISLAM, M., DEB, G. P., RAHMAN, M. Forest fragmentation reduced carbon storage in a moist tropical forest in Bangladesh: implications for policy development. **Land Use Pol.** 65, 15-25. 2017.

LACEBY, J. P., SAXTON, N. E., SMOLDERS, K., KEMP, J., FAGGOTTER, S. J., ELLISON, T., ... BURFORD, M. A. The effect of riparian restoration on channel complexity and soil nutrients. **Marine and Freshwater Research**, 68(11), 2041-2051. 2017.

LARSON, D. M., DODDS, W. K., VEACH, A. M. Removal of woody riparian vegetation substantially altered a stream ecosystem in an otherwise undisturbed grassland watershed. **Ecosystems**, 22(1), 64-76. 2019.

LIMA, R. A. F.; MORI, D. P.; PITTA, G. R; ET AL. How much do we know about the threatened Atlantic Forest? Reviewing nearly 70 years of information from tree community surveys Biodivers. **Conservation**, 24, p. 2135 - 2148, 10.1007/s10531-015-0953-1. 2015.

LIMA, R. A. F.; OLIVEIRA, A. A.; PITTA, G. R., ET AL. Biodiversity and biomass erosion in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature Communications**, 11 (1), 6347. 2020.

LYON, J. G., YUAN, D., LUNETTA, R. S., ELVIDGE, C. D. A change detection experiment using vegetation indices. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 64 (2), 143-150. 1998.

LU, D., BATISTELLA, M. Exploring TM image texture and its relationships with biomass estimation in Rondônia, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica** 35, 249- 257. 2005.

LU, D., CHEN, Q., WANG, G., MORAN, E., BATISTELLA, M., ZHANG, M., VAGLIO LAURIN, G., SAAH, D. Aboveground forest biomass estimation with landsat and LiDAR data and uncertainty analysis of the estimates. **Int. J. Forestry Res**, 16. 2012.

MA, J., XIAO, X., QIN, Y., CHEN, B., HU, Y., LI, X., ZHAO, B. Estimating aboveground biomass of broadleaf, needleleaf, and mixed forests in Northeastern China through analysis of 25-m ALOS/PALSAR mosaic data. **Forest Ecology and Management**, 389, 199-210. 2017.

MANCUSO, J., TANK, J. L., MAHL, U. H., VINCENT, A., TIEGS, S. D. Monthly variation in organic-matter decomposition in agricultural stream and riparian ecosystems. **Aquatic Sciences**, 85(3), 83. 2023.

MARTA-ALMEIDA, M., MENDES, R., AMORIM, F. N., CIRANO, M., DIAS, J. M. Fundação Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. **Marine pollution bulletin**, 112(1-2), 359-364. 2016.

MULHOLLAND, P. J., & WEBSTER, J. R. Nutrient dynamics in streams and the role of J-NABS. **Journal of the North American benthological society**, 29(1), 100-117. 2010.

NAGESWARA-RAO, M., SONEJI, J. R., SUDARSHANA, P. Structure, diversity, threats and conservation of tropical forests. **Tropical Forests**, 1. 2012.

OMACHI, C. Y., SIANI, S. M., CHAGAS, F. M., MASCAGNI, M. L., CORDEIRO, M., GARCIA, G. D., ... THOMPSON, F. L. Atlantic Forest loss caused by the world´s largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 12, 30-34. 2018.

OLIVEIRA, A. K. M. D., PIRAJÁ, R. V. Análise multitemporal da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ceroula, Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, 23(4), 997-1011. 2022.

OLIVEIRA-FILHO, A. T., JARENKOW, J., RODAL, M. J. N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In **Neotropical savannas and seasonally dry forests** (pp. 159-192). CRC Press. 2006.

PAZ, A. A. D., SHIMIZU-ALEIXO, D., OLIVEIRA-WITTMANN, A. D., WITTMANN, F., RIBEIRO, C., & CAMPOS, R. I. D. Plant recruitment six years after the Samarco's tailings-dam disaster: Impacts on species richness and plant growth. **Plos one**, 20(8), e0315990. 2025.

PERALTA-MARAVER, I., STUBBINGTON, R., ARNON, S., KRATINA, P., KRAUSE, S., DE MELLO CIONEK, V., ET AL. The fluvial bioreactor: an integrative perspective on the biological decomposition of organic matter in riverine habitats. **Sci. Total Environ.** 772, 145494. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145494. 2021.

PETTORELLI, N., RYAN, S., MUELLER, T., BUNNEFELD, N., JĘDRZEJSKA, B., LIMA, M., KAUSRUD, K. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. **Climatic Research**, 46 (1), 15–27. 2011.

PFEIFER, M., LEFEBVRE, V., PERES, C. A., BANKS-LEITE, C., WEARN, O. R., MARSH, C. J., ... EWERS, R. M. Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. **Nature**, 551(7679), 187-191. 2017.

POPESCU, S. C., WYNNE, R. H., SCRIVANI, J. A. Fusion of small-footprint lidar and multispectral data to estimate plot-level volume and biomass in deciduous and pine forests in Virginia, USA. **Forest Science**, 50(4), 551-565. 2004.

RAMIAO, J. P., CÁSSIO, F., PASCOAL, C. Riparian land use and stream habitat regulate water quality. **Limnologia**, 82, 125762. 2020.

RIAÑO, D., CHUVIECO, E., SALAS, J., AGUADO, I. Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. **IEEE Transactions on geoscience and remote sensing**, 41(5), 1056-1061. 2003.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHEL, J. A., DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In **Third NASA Earth Resources Technology Satellite Symposium**, Vol. 1, pp. 309-317. 1974.

SANTANA, F. C., FRANCELINO, M. R., SCHAEFER, C. E., VELOSO, G. V., FERNANDES-FILHO, E. I., SANTANA, A. D. J., ... ROSA, A. P. Water quality of the Gualaxo do Norte and Carmo rivers after the Fundão dam collapse, Mariana, MG. **Water, Air, & Soil Pollution**, 232(4), 155. 2021.

SARKER, L. R., NICHOL, J. E. Improved forest biomass estimates using ALOS AVNIR-2 texture indices. **Remote Sens. Environ.** 115, 968–977. 2011.

SCHADE, J. D., WELTER, J. R., MARTÍ, E., GRIMM, N. B. Hydrologic exchange and N uptake by riparian vegetation in an arid-land stream. **Journal of the North American Benthological Society**, 24(1), 19-28. 2005.

SCHAEFER, C. E. G. R., SANTOS, E. D., FERNANDES FILHO, E. I., ASSIS, I. D. Paisagens de lama: Os Tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da barragem do Fundão, em Mariana. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-SBCS. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 42, 24-7. 2016.

SHEN, C., SHI, N., FU, S., YE, W., MA, L., GUAN, D. Decline in aboveground biomass due to fragmentation in subtropical forests of China. **Forests** 12, 617. 2021.

SILVA JUNIOR, C.H., ARAGÃO, L.E., ANDERSON, L.O., FONSECA, M.G., SHIMABUKURO, Y.E., VANCUTSEM, C., ET AL. Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. **Sci. Adv.** 6 (40) eaaz8360. 2020.

SOENEN, S. A., PEDDLE, D. R., HALL, R. J., COBURN, C. A., HALL, F. G. Estimating aboveground forest biomass from canopy reflectance model inversion in mountainous terrain. **Remote Sens. Environ.** 114, 1325-1337. 2010.

SOS MATA ATLÂNTICA. Observando os Rios 2017: o retrato da qualidade da água na bacia do rio Doce após dois anos do rompimento da barragem de Fundão. **SOS Mata Atlântica**. 2017.

SSALI, F., MOE, S. R., SHEIL, D. Tree seed rain and seed removal, but not the seed bank, impede forest recovery in bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)-dominated clearings in the African highlands. **Ecology and Evolution**, 8(8), 4224-4236. 2018.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote sensing of Environment**, 8(2), 127-150. 1979.

USGS – U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 4-7 Collection 1 (C1) Surface Reflectance (LEDAPS) Product Guide. Department of the Interior, **U.S. Geological Survey**. Version 3.0. 2020a.

USGS – U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide. Department of the Interior, **U.S. Geological Survey**. Version 3.0. 2020b.

WOOD, P. J.; ARMITAGE, P. D. Efeitos biológicos de sedimentos finos no ambiente lótico. *Gestão ambiental*, 21 (2), 203-217. 1997.

XIE, Y., SHA, Z., YU, M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of plant ecology**, 1 (1), 9-23. 2008.

ZHU, X., LIU, D. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 102, 222-231. 2015.

ZHU, Z., WOODCOCK, C. E. Continuous land cover change detection and classification using all available Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, 144, 152-171. 2014.

ZHU, Z., PIAO, S., MYNENI, R. B., HUANG, M., ZENG, Z., CANADELL, J. G., ... & ZENG, N. Greening of the Earth and its drivers. **Nature climate change**, 6(8), 791-795. 2016.

DIAGNÓSTICO DA INFRAESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ESCOLAS RURAIS BENEFICIADAS PELO PROGRAMA CISTERNAS NAS ESCOLAS NO ESTADO DE ALAGOAS

Elvis Pantaleão Ferreira

Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)

RESUMO

O Projeto Cisternas nas Escolas objetiva o fornecimento de água para as escolas rurais do Semiárido, utilizando ações estruturais mediante concepção de cisternas como tecnologia social para armazenamento de água pluvial, e ações não estruturais por meio de práticas educativas contextualizadas. Este trabalho objetiva apresentar um pioneiro diagnóstico da infraestrutura dos serviços de abastecimento de água as escolas rurais em que foram implantadas cisternas do Programa Cisternas nas Escolas na Microrregião Serrana dos Quilombos, no estado de Alagoas, especificamente no município de Santana do Mundaú, utilizando-se como metodologia a pesquisa exploratória e qualitativa, com emprego de entrevista semiestruturada e não estruturada, além do uso de questionário, fichas-relatório e registros fotográficos. Das cisternas implantadas nas escolas, apenas uma está sendo parcialmente utilizada. Estão todas elas totalmente desprovidas de acompanhamento técnico, sendo possível perceber a falta de interesse do executivo municipal na promoção da manutenção desses equipamentos. São fundamentais ações que elevem o empoderamento social a essas construções.

Palavras-chave: Abastecimento de água; educação; saúde.

INTRODUÇÃO

Escolas com infraestrutura e condições sanitárias adequadas são ambientes propícios ao aprendizado e ao desenvolvimento humano. O progresso observado nos últimos anos dos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos aproximaram algumas escolas desse cenário (Unicef, 2018; WaterAid, 2019). A agenda dos novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, composta por 17 Objetivos e 169 metas recomendam que até 2030 haja acesso universal a serviços básicos de saneamento, conforme a implementação de metas globais, regionais e nacionais, destaca a Organização Mundial da Saúde (ONU, 2015).

No Brasil, a realidade de muitas escolas rurais da rede pública apresenta cenário ainda preocupante, sobretudo no tocante ao acesso à água para uso no cotidiano escolar destinado a limpeza, preparação de alimentos e higiene pessoal, é o que destacam os relatórios da Organização Mundial da Saúde (OMS/OPAS, 2018) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef, 2018).

Para a convivência com a escassez de recursos hídricos, há diversas Tecnologias Sociais de reconhecimento nacional e internacional que vêm sendo desenvolvidas e implantadas no Brasil, sobretudo no Semiárido, entre elas o Programa Um Milhão de Cisternas – P1MC; Programa Uma Terra e Duas Águas – P1+2, e o Programa Cisternas nas Escolas – PCE, reconhecidos como Políticas Públicas com recursos previstos no Orçamento da União. Essas tecnologias surgiram da parceria entre sociedade civil, Organizações Não Governamentais e o Estado (Araujo, 2016; Unicef, 2017).

Brito *et al.* (2012) e Gnadlinger (2015) destacam que essas Tecnologias Sociais utilizam cisternas concebidas com placas de cimento, com capacidade de armazenamento variando entre 16 e 52 mil litros para acondicionamento da água pluvial. Técnicas reconhecidas como solução simples, de baixo custo, de fácil reaplicação, que no contexto das famílias do Semiárido são consideradas tecnologia de ponta e efetiva.

As Tecnologias Sociais implementadas pela Articulação no Semiárido Brasileiro – ASA não se restringe a ações estruturantes, mas também como instrumento pedagógico, mediante práticas educativas contextualizadas, valorizando

a cultura local de forma autogestionária, contraponto o modelo convencional e político que gera dependência (Araujo, 2016).

O Programa Cisternas nas Escolas – PCE foi concebido com o objetivo de ofertar água para as escolas rurais do Semiárido, além de outras áreas prioritárias localizadas em aldeias indígenas e comunidades quilombolas. O projeto abrange unidades escolares dos estados integrantes do Semiárido brasileiro (AL, BA, CE, MG, PB, PE, PI, RN e SE), que apresentam alguma limitação do acesso à água (Gnadlinger, 2015; ASA, 2020).

O projeto-piloto teve início na Bahia, em 2009, protagonizado pela ASA Bahia, por meio do Centro de Assessoria do Assuruá – CAA, com o apoio do Ministério do Desenvolvimento Social – MDS e do Governo do Estado. A partir de 2010, o projeto foi ampliado sob a coordenação da ASA Brasil, com a parceria do MDS, via Secretaria Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, Instituto Ambiental Brasil Sustentável e a Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (ASA, 2020).

Entre 2012 a 2014, o Programa recebeu Cooperação Internacional mediante apoio de entidades filantrópicas latino-americanas que promovem a sustentabilidade a partir de processos colaborativos, o que potencializou a continuidade e a implantação de novos projetos. De 2015 a 2017, a ASA beneficiou cerca de cinco mil escolas, ocasião em que foram selecionadas várias entidades, através de Edital público, para executarem etapas do projeto (ASA, 2020).

A presença perene da água na escola tem um significado especial por possibilitar o pleno funcionamento desse espaço de aprendizado e convivência, mesmo nos períodos mais secos. É no ambiente escolar que os alunos também adquirem estratégias educativas para promoção da saúde, como escovar os dentes e lavar as mãos, fatores condicionantes e determinantes de doenças (OPAS, 2012; ASA, 2020). O Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional reconhece o PCE como elemento de segurança hídrica e alimentar (Agência Brasil, 2019).

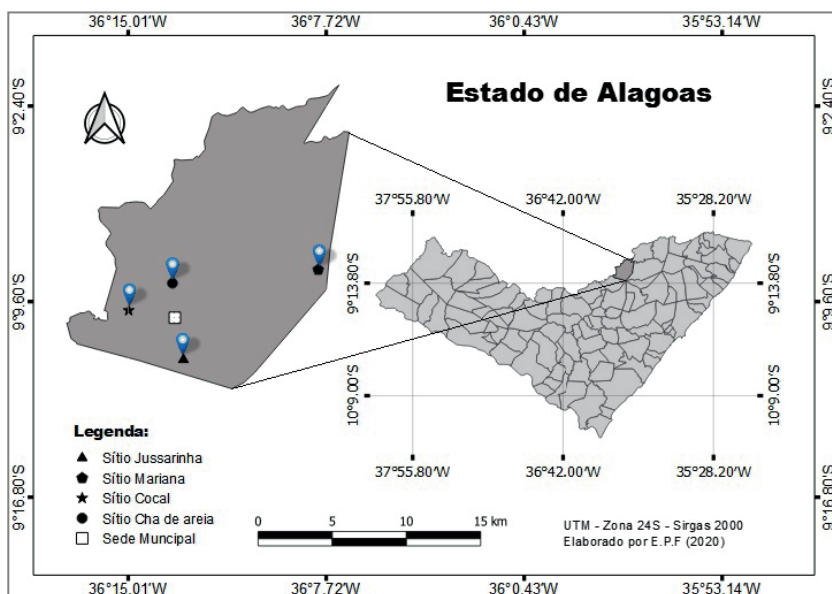
Na Microrregião Serrana dos Quilombos, no estado de Alagoas, Brasil, especificamente no município de Santana do Mundaú, as ações do Programa Cisterna nas Escolas foram implantadas a partir de 2015, como forma de oferta de água a escolas rurais com insegurança hídrica.

O presente trabalho objetiva apresentar um pioneiro diagnóstico da infraestrutura dos serviços de abastecimento de água, no tocante à real situação das cisternas implantadas nas escolas das comunidades rurais da Jussarinha, Mariana, Cocal e Chã de Areia.

METODOLOGIA

O município de Santana do Mundaú está localizado na Microrregião Serana dos Quilombos do estado de Alagoas, Brasil (Figura 1), apresenta área territorial de 224,82 km², sendo 9° 10' 12.8"S e 36° 13' 17.2"W as coordenadas geográficas do centro da cidade, com altitude de 221,47 metros. Apresenta população estimada em 2019 de 10.740 habitantes (IBGE Cidades, 2020), com cerca de 50% das residentes presentes na zona rural. O município está distante aproximadamente 100 km de Maceió, capital do Estado, cujo acesso principal se dá através da Rodovia Estadual Mário Gomes de Barros – AL 205.

Figura 1 - Vista espacial do município de Santana do Mundaú – AL. Em destaque as comunidades rurais contempladas com o Programa Cisternas nas Escolas.



Para o estudo em questão, foram realizadas pesquisas exploratória e qualitativa in loco, com emprego de entrevista semiestruturada e não estruturada, além de uso de questionário, fichas relatório e registros fotográficos, mediante contato direto e interativo dos pesquisadores com a situação objeto de estudo. Durante as entrevistas, estabeleceu-se um clima de cordialidade e confiança, permitindo que os entrevistados ficassem à vontade para melhor garantir a qualidade das respostas. Os pesquisadores preocuparam-se em não interferir em nenhuma opinião sobre o assunto, evitando, assim, a parcialidade das respostas.

Inicialmente com o objetivo de discutir e esclarecer aspectos relacionados à implantação do Programa Cisterna nas Escolas no município, foram entrevistados profissionais da Diretoria de Educação do Campo vinculados à Secretaria Municipal de Educação de Santana do Mundaú. Adicionalmente, foram entrevistados ex-Diretores e ex-Secretários, e demais profissionais que participaram à época do início da implantação do Programa, visando a obter informações complementares, como histórico da contemplação do município pelo Programa Cisternas nas Escolas, limitações e aspectos relevantes da implantação das cisternas para a melhoria, e progresso das escolas rurais contempladas.

Em uma segunda etapa, foram realizadas entrevistas em campo junto às escolas e demais membros das comunidades onde foram implantadas as cisternas. Ocorreram em ambientes sem qualquer nível de formalidade, com perguntas não estruturadas, de modo que as pessoas se expressassem com mais liberdade, em bate-papo descontraído e informativo, permitindo ao entrevistado dizer o que julgasse pertinente, por meio de conversação guiada, permitindo obter informações detalhadas para utilizar em uma análise qualitativa, conforme recomendações de Ferreira e Pantaleão (2016).

Foram obtidos dados complementares com a Associação de Agricultores Alternativos – AAGRA do município de Igaci – AL, organização social responsável pela construção de cisternas no estado de Alagoas.

DISCUSSÃO

No município de Santana do Mundaú há 23 escolas do campo e uma que funciona como extensão. No ano de 2019, totalizaram-se 616 alunos

matriculados. O regime escolar adotado é a modalidade exclusivamente multisseriada para oferta do primeiro segmento do Ensino Fundamental. O regime multisseriado constitui uma forma de organização de ensino em que o docente ministra, na mesma sala de aula, várias séries do Ensino Fundamental concomitantemente, atendendo a alunos com idades e níveis de conteúdos diferentes.

As escolas do campo pesquisadas, contempladas com o Projeto Cisterna nas Escolas, estão localizadas nas comunidades rurais, a saber Mariana, Jussarinha, Cocal e Chã de Areia, sendo as duas primeiras comunidades situadas em território quilombola, distantes do centro da cidade de Santana do Mundaú, respectivamente, a 13,4 Km, 6,2 Km, 5,7Km e 4,3 Km. O acesso principal às comunidades se dá por estradas não pavimentadas. Em períodos chuvosos, conforme a intensidade e a duração das precipitações, o acesso de veículos é impossível.

O Projeto Cisterna nas Escolas, conforme já apresentado, é um programa de convivência com o Semiárido, que prioriza também comunidades quilombolas e outras comunidades tradicionais na região Nordeste do Brasil. Assim, a princípio, a seleção das escolas do campo para implantação das cisternas teve como objetivo atender as três escolas quilombolas presentes no Município, nas comunidades Mariana, Jussarinha e Filus, haja vista Santana do Mundaú não fazer parte do Semiárido do Brasil, por estar presente na Microrregião Serrana dos Quilombos, Zona da Mata do Estado de Alagoas.

Para serem contempladas com o projeto, as escolas tiveram que atender alguns critérios, como escassez e conflito pela água, tipo de telhado, terreno acessível, distância de fossas sépticas, facilidade de acesso ao local, entre outros requisitos, assim como participação dos gestores em cursos de formação. Considerando esse cenário, na comunidade Filus, embora necessite muito da cisterna, não foi possível a implantação, uma vez que possui telhado com telhas de amianto, material não indicado para coleta de água pluvial destinada ao consumo humano.

O amianto é uma fibra mineral de alta durabilidade e de baixo custo e por muitos anos foi matéria prima comumente usada na fabricação de telhas e caixas de água. Atualmente essa fibra é proibida em mais de 60 países, por ser comprovadamente cancerígena e causar outras doenças pulmonares. No Brasil, o Supremo Tribunal Federal – STF julgou inconstitucional o artigo 2º da Lei

Federal nº 9.055/95, que regulava a exploração do mineral no país. Desse modo, a partir de 29 de novembro de 2017, foi proibida a produção, a comercialização e o uso do amianto para a fabricação de telhas e caixas d'água.

Diante dessa situação, a cisterna que seria instalada na comunidade Filus foi ofertada para outra escola do município. Mediante articulação da Secretaria Municipal de Educação, foram diagnosticadas duas unidades escolares com real necessidade de implantação de cisternas, devido a históricos conflitos de acesso à água, associados a recentes alterações do regime de chuvas, promovendo eventos de longas estiagens, contribuindo para o cenário de limitação da oferta de água nas escolas.

Com esse cenário, o município foi contemplado com mais uma cisterna do Projeto Cisterna nas Escolas, totalizando a implantação de quatro unidades, presentes então nas comunidades rurais de Mariana, Jussarinha, Cocal e Sítio Chã de Areia, sendo as duas primeiras comunidades quilombolas.

As localidades apresentam como características socioeconômicas comunidades essencialmente formadas por trabalhadores rurais, situados em pequenas áreas agricultáveis, com cerca de três a cinco hectares de terra por família, ocupadas por pastagens, fragmentos florestais da Mata Atlântica, cultivo de laranja lima (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), banana, criação de animais e agricultura de subsistência, tendo plantio, sobretudo, de feijão, milho, batata e mandioca, com emprego de baixo nível tecnológico.

As ações do Projeto Cisterna nas Escolas iniciaram a partir de 2015, fruto de parceria entre o Ministério do Desenvolvimento Social – MDS e a Articulação do Semiárido Brasileiro – ASA/Termo de Parceria 01/2014, entidade que reúne diversas organizações da sociedade civil para a construção de cisternas, mediante o Programa de Fomentação e Mobilização Social para a convivência com o Semiárido – Cisternas nas Escolas.

As primeiras capacitações e formação em educação contextualizada do Projeto ocorreram em março de 2015 através da ASA em Alagoas, desenvolvidas pela Associação de Agricultores Alternativos – AAGRA e a Rede de Educação Contextualizada do Agreste e Semiárido Alagoano – RECASA. Na ocasião foram capacitados professores e técnicos da Secretaria Municipal de Educação,

abordando temas como os cuidados com a cisterna, gerenciamento do uso da água, limpeza da cisterna e calhas, os cuidados com a água, entre outros.

É oportuno ressaltar que antes da concepção das cisternas também houve em parceria como município, por meio da Secretaria Municipal de Educação, oferta de formações no tocante às temáticas em gestão de água e educação contextualizada, destinadas para os líderes das comunidades, os quais não demonstraram entusiasmo para implantação do projeto, e para os professores, de modo a serem multiplicadores de conhecimento para alunos e comunidade local.

A construção das cisternas nas escolas ocorreu a partir de julho de 2016 pela AAGRA, organização social responsável pela construção desses aparatos no estado de Alagoas. Elas foram construídas com placas de cimento, com capacidade de armazenamento de 52 mil litros.

A primeira cisterna instalada foi na Escola Municipal de Ensino Fundamental José Pureza da Silva (E.M.E.F Antonio Correia Barbosa José Pureza da Silva), na comunidade quilombola denominada Mariana. A unidade escolar tem as coordenadas geográficas 09° 08' 26.7"S e 36° 08' 00.4"W, com altitude de 248 metros. As cisternas possuem placa de identidade; a implantada nessa comunidade é assinalada como "cisterna escolar nº 985" (Figura 2).

Figura 2 - Cisterna na comunidade Mariana/ E.M.E.F Antônio Correia Barbosa José Pureza da Silva.



Nessa escola o abastecimento de água para consumo humano, preparo de merenda e uso para limpeza tradicionalmente ocorreu através do acesso à água advinda de manancial subterrâneo – poço freático, também denominado localmente de “cacimba”, a cerca de 200 metros da escola, presente em propriedade particular, que permitia o acesso à fonte.

Até 2019, as necessidades hídricas da escola eram atendidas com água transportada da nascente em baldes na cabeça, por servidora da escola (merendeira). Embora essa não fosse sua atribuição, esse trabalho permaneceu por 14 anos, revelou a servidora em entrevista realizada em dezembro de 2019, destacando ainda que às vezes o transporte era feito com o auxílio de carro de mão ou tração animal. As rotineiras e longas caminhadas para o acesso e transporte da água comprometeram sua saúde, hoje convive com problemas na coluna vertebral.

A cada quatro anos, por ocasião das eleições municipais e por questões de ideologia política, dependendo do candidato eleito para o executivo municipal, o proprietário da fonte/nascente não permitia o acesso à água, fazendo com que a busca fosse por outra fonte nas proximidades, cujo proprietário tivesse o mesmo “alinhamento político”, pois o acesso à água erroneamente é visto como um serviço que beneficia o chefe do executivo municipal e não aos estudantes da comunidade. Visando promover acesso soberano à água e pôr fim aos conflitos, a cisterna surgiu como alternativa para o abastecimento de água da escola.

Todavia, apesar dos benefícios que a implantação da cisterna traria à escola, houve rejeição de muitos pais e membros da comunidade do uso da água nesse sistema para o consumo pelas crianças na escola. Afirmavam que seus filhos não iriam beber “desse tipo de água”, mesmo sabendo que ela passaria por processos de filtragem em filtros de barro composto por velas filtrantes, seguido da adição de hipoclorito de sódio (NaClO), comumente conhecido como cloro. A comunidade não aceitou o uso da cisterna, ocorrendo episódios de lançarem objetos e frutas dentro dela, como forma de não aderir à proposta.

Acredita-se que houve lapso ou falta de ênfase na forma de capacitação da comunidade escolar, haja vista os pais dos alunos não compreenderem os reais benefícios e propósitos da cisterna na escola, assim como não assimilaram a eficiência do tratamento através da filtração e cloração antes do consumo da água. Assim, não ocasionou o empoderamento social dessa tecnologia social,

que tem mudado muitas realidades, garantindo o acesso à água em diversas escolas na região Nordeste e em outros países.

Visando evitar conflitos com a comunidade e não comprometer ainda mais a saúde da merendeira, que abastecia a escola com água transportada na cabeça, a então Secretaria Municipal de Educação (Gestão 2016-2020) passou a fornecer água mineral à escola para o consumo humano. Semanalmente a escola é abastecida com cinco galões de vinte litros de água mineral, adquiridos pela prefeitura municipal mediante licitação. O consumo direto dos alunos e servidores é feito através de um gela água.

Curiosamente, mesmo com toda a água pluvial do telhado sendo captada por calhas, estas não se direcionam à cisterna, conforme pode ser observado na Figura 2 acima. A estrutura vem sendo abastecida por carro-pipa, sendo sua água aduzida para uma caixa de água de 500 litros. Em seguida, por força da gravidade, atende as demandas dos banheiros, dos serviços de limpeza e demais usos.

Na sequência, a comunidade contemplada com a cisterna nº 986 foi a Escola Municipal de Ensino Fundamental Antonio Correia Barbosa (E.M.E.F Antonio Correia Barbosa), situada em Jussarinha, tendo as coordenadas geográficas 9° 14' 45.4"S e 36° 12' 52.8"W e altitude de 338 metros (Figura 3).

Figura 3 - Cisterna na comunidade Jussarinha/ E.M.E.F Antônio Correia Barbosa.



Assim como na comunidade Mariana, a Escola Municipal de Ensino Fundamental Antonio Correia Barbosa também está inserida em território quilombola

– “Comunidade Jussarinha”. À luz do Decreto 4.887 de 2003, as comunidades quilombolas são caracterizadas por serem grupos étnico-raciais remanescentes das comunidades dos quilombos, com trajetória histórica própria, dotados de relações territoriais específicas, com presunção de ancestralidade negra (BRASIL, 2003).

O abastecimento de água na escola comumente ocorreu através do acesso à água encanada advinda de nascentes presentes em propriedades particulares nas proximidades da escola, cedida pelos proprietários. Contudo, devido às longas estiagens que vinha atingindo o município nos últimos anos, era comum a escassez de água na escola. A implantação do Projeto Cisterna na escola foi muito prestigiado pela comunidade e, sobretudo, pela docente daquela unidade escolar, uma vez que tornaria perene o abastecimento de água.

Após a cisterna ser construída, faltaram a instalação das calhas no telhado para a condução da água pluvial para o local e a rede com bomba de água. Sendo assim, inicialmente a construção passou a ser utilizada como reservatório da água da nascente, porém, meses após a construção e uso como reservatório, a estrutura apresentou rachaduras capilares que evoluíram para trincas, não permitindo a contenção de água.

Devido ao fato, a cisterna deixou de ser utilizada, relataram membros da comunidade em entrevistas realizadas em dezembro de 2019 e janeiro de 2020. Problema estrutural não é raro ocorrer em cisternas, o que impede a reservação da água, chegando até a comprometer a qualidade desta, conforme constatado por Ruskin e Patrick (1998), Simmons *et al.* (2001) e Brito e Gnadlinger (2006).

A apresentação de rachaduras e/ou trincas em construções de alvenaria pode estar associada ao tipo de solo em que a edificação foi erguida, uma vez que algumas de suas propriedades, como tipo e teor de argilominerais, resistência da cimentação, micro e macroestrutura do material, temperatura, sucção do solo, plasticidade, clima e lençol freático, contribuem para a capacidade de expansão e de contração do solo, conforme discutido por Pereira (2004). Assim, dependendo da estação do ano, o solo se movimenta, transmitindo esse deslocamento para a estrutura.

Dados apresentados por Schistek (2009) e Silva *et al.* (2013) destacam que outras razões podem estar associadas de forma isolada ou concomitante à

apresentação de rachaduras e/ou de trincas em cisternas, como presença de corpos estranhos na argamassa e distensões térmicas ou de carga de placas. Portanto, é possível que as rachaduras que comprometeram a cisterna estejam associadas a alguns desses possíveis fatores.

Até então a cisterna se encontra inutilizada pela escola e o abastecimento segue oriundo das nascentes. Contudo, o não uso da construção reflete insegurança hídrica, haja vista que o acesso à água de mananciais freáticos, os quais atualmente fornecem água à escola, são vulneráveis, seja por fatores hidrológicos, por ordem antrópica e/ou condições climáticas. Cabe ressaltar que, segundo o Monitor de Secas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020), desde 2010 as chuvas no estado de Alagoas estão abaixo da média.

Na continuidade do Projeto, a próxima escola contemplada foi a da comunidade Cocal. A cisterna nº 987 foi implantada na Escola Municipal de Ensino Fundamental José Henrique do Nascimento (E.M.E.F José Henrique do Nascimento), tendo como coordenadas geográficas 9° 09' 56.6"S e 36° 14' 59.1"W as e altitude de 388 metros (Figura 4).

Figura 4 - Cisterna na comunidade Cocal/E.M.E.F José Henrique do Nascimento.



Nessa comunidade, a cisterna encontra-se completamente inoperante. Desde a sua conclusão, em 2016, nunca cumpriu sua função de armazenar água pluvial do telhado da escola, por falta de instalação das calhas para captação e condução da água pluvial e de bomba de água com tubulação específica para

conduzir o líquido para fora da cisterna, desse modo a estrutura encontra-se abandonada (Figura 4).

O abastecimento de água do local historicamente ocorre através de nascente presente em propriedade particular. Contudo, em entrevista realizada em janeiro de 2020, o proprietário da área onde está presente a nascente demonstrou insatisfação por ter que arcar com os custos para fornecer água, haja vista demandar recursos próprios com energia elétrica para aduzir a água da nascente, por moto bomba, até a caixa de água da escola.

Segundo ainda o proprietário, tal procedimento ocorre por sua residência ser a mais próxima e a professora que leciona ser membro da família, portanto, para não ver as crianças sem acesso à água, diante da inércia das gestões municipais, afirma que há anos atende as necessidades hídricas da escola – limpeza, preparação de alimentos e consumo das crianças, para este fazendo uso de filtro doméstico, seguido de cloração.

Embora os mananciais de águas sucedidos de zona subterrânea sejam, conforme o tipo de solo, menos propensos à contaminação, devido a sofrerem filtração natural pelas camadas do solo, é imprescindível que qualquer água destinada ao consumo humano, independentemente da forma de acesso, seja sujeita à vigilância da qualidade da água, conforme a determina a Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde.

Tal procedimento se faz necessário, haja vista que os mananciais subterrâneos, sobretudo os aquíferos superficiais e freáticos, podem ser acometidos por contaminação pelas inadequadas práticas de proteção sanitária dos mananciais, como não isolamento da área, presença de criação de animais, excretas humanas, supressão da vegetação nativa, usos de agrotóxicos, fertilizantes agrícolas, processos geoquímicos naturais, entre outros. De acordo com a Diretoria de Educação do Campo, ocorrem análises rotineiras das águas que abastecem as escolas por meio da Secretária Municipal de Saúde.

Por fim, na comunidade Chã de Areia foi implantada a última cisterna, a de nº 988, na Escola Municipal de Ensino Fundamental São Vicente de Paula (E.M.E.F São Vicente de Paula), com coordenadas geográficas 09° 08' 56.4"S e 36° 13' 225"W as e altitude de 428 metros (Figura 5).

Figura 5 - Cisterna na comunidade Chã de Areia/E.M.E.F São Vicente de Paula.



Por muitos anos o abastecimento da escola foi realizado pela condução de água em baldes, advinda de fontes subterrâneas distantes cerca de 500 metros, localizadas em propriedades particulares. Por questões políticas, semelhante à prática dos proprietários da fonte de água na comunidade Mariana, era comum haver atritos para o acesso à água, motivados por ideologias políticas.

A distância da fonte associada à topografia bastante irregular da localidade onde está situada a escola exigia maior esforço físico para buscar a água, atividade feita pelos servidores que atuavam como merendeira escolar e que também se dedicavam à coleta e transporte de água para uso diário do local, inclusive para beber.

Estudos publicados por Orrico (2003) e Ferreira *et al.* (2014) em comunidades rurais em que há abastecimento de água nos moldes de transporte acima citado descrevem que essa prática, quando realizada por muitos anos, tem potencial de produzir lesões músculo esqueléticas irreversíveis, assim como haver doenças de pele, corroborando com as situações anteriormente evidenciadas neste trabalho.

Dados publicados pela Organização Panamericana de Saúde (OPAS, 2012) ressaltam que essa forma de acesso aos recursos hídricos apresenta preocupantes níveis de implicações à saúde, tanto para aquela que executa o transporte devido aos esforços da tração manual, como para o consumidor

final. Quanto maior é o raio de acesso à fonte, menor é o volume consumido, o que proporciona uso insuficiente de água para atendimento das necessidades básicas diárias, sobretudo no ambiente escolar, limitando atividades educativas estratégicas para promoção da saúde, como escovar os dentes e lavar as mãos, fatores determinantes de doenças.

Nesse cenário, Razzolini e Günther (2008) advertem que comumente as doenças de transmissão por rota feco oral endêmicas devem-se à falta de higiene, motivada pela escassa disponibilidade de água, dificultando e impedindo imediatos e essenciais hábitos higiênicos.

Somente em 2013, após a escola passar por reforma, a Secretaria de Educação com o executivo municipal promoveu o fornecimento de água encanada para a escola, por meio de contrato realizado com uma propriedade rural vizinha, que se comprometeu a fornecer água oriunda de nascente. A água é bombeada para uma caixa de água e em seguida fornecida à escola por força da gravidade. Até a conclusão desta pesquisa, continuava esse modo de abastecimento.

Por falta de instalação das calhas para captação e condução da água pluvial à cisterna e de bomba de água com tubulação específica para conduzir a água para fora da cisterna (Figura 5), associada à ausência de interesse do executivo municipal para solucionar o problema, a cisterna, embora concluída desde 2016 assim como as demais citadas anteriormente nas comunidades Mariana e Cocal, estão inutilizadas. Logo, a expectativa das comunidades em se ter segurança hídrica por meio das cisternas até o momento está frustrada, pois nenhuma construção está devidamente funcionando.

Quanto aos aspectos bacteriológicos, estudos realizados no Estado de Pernambuco por Amorim e Porto (2001) e por Brito *et al.* (2005), na Paraíba por Xavier (2010), e na Bahia por Silva (2015), em amostras de água de cisternas destinadas ao consumo humano, mostraram que grande parte das análises bacteriológicas apresentaram-se em desacordo com os padrões de potabilidade de água para o consumo humano, conforme recomendações da Portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde, motivo que leva vários estudos a advertirem sobre a necessidade de implantar formas de tratamento prévio para consumir água de cisterna.

As precipitações pluviais, apesar de sofrerem influência da qualidade do compartimento atmosférico, em ambientes rurais e/ou em locais bem arborizados, normalmente interceptam os telhados das residências com qualidade não tão comprometida, uma vez que as árvores exercem papel fundamental na limpeza de poluentes da atmosfera.

Porém, o contato com as impurezas armazenadas tanto nos pontos de captação quanto nos sistemas de coleta e transporte e a não efetiva limpeza do reservatório (cisterna) resultam em alterações significativas das características da água, em especial nos padrões microbiológicos, conforme discutido por Simmons *et al.* (2001). Portanto, é oportuno destacar que, para o consumo humano, a água de cisternas deve obrigatoriamente passar por alguma medida a fim de se obter melhoria de qualidade, sobretudo nos aspectos bacteriológicos, seja por processos de tratamento avançado, convencional ou domiciliar/doméstico.

Essa última técnica envolve medidas simples e eficientes de uso milenar, com processos de filtração da água, utilizando filtros caseiros – os chamados filtros de barro (Figura 6A) –, seguida da cloração, mediante adição de hipoclorito de sódio (NaClO), utilizado como agente desinfectante, ou a fervura da água.

Na Figura 6A é apresentado um filtro de barro presente e operante na Escola M. E. F. José Henrique do Nascimento – comunidade Cocal, tendo um também na Escola M.E.F. São Vicente de Paula – comunidade Chã de Areia, os quais estão sendo utilizados para filtração das águas das nascentes. Embora haja disponibilização do hipoclorito de sódio pela Secretaria Municipal de Saúde (Figura 6B), a adição do produto à água comumente não é executado, e quando é realizado não atende as recomendações de uso, fato esse comprovado pelos relatos das merendeiras, que alegam o não consumo por muitos, por deixar gosto “ruim” na água.

Figura 6 - Filtro caseiro operante na E.M.E.F José Henrique do Nascimento; hipoclorito de sódio disponibilizado pela Secretaria Municipal de Saúde.



O hipoclorito de sódio, na forma de cloro ou água sanitária, utilizado como agente desinfetante na água para consumo humano deve ser aplicado em função do volume de água armazenada no reservatório. No caso do hipoclorito de sódio, disponibilizado gratuitamente em frascos de 50 mL pelo Ministério da Saúde, via Secretarias Municipais de Saúde, recomenda aplicação de 0,1mL (equivalente a 02 gotas) de hipoclorito de sódio solução a 2,5% para cada 1 litro de água, de modo a assegurar que a água contenha teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L (Portaria nº 5/2017 – Ministério da Saúde).

A filtração domiciliar é uma das formas mais antigas empregadas no tratamento da água para consumo humano, relatada desde o século X a.C. (Libâneo, 2010). Heller & Pádua (2010) relatam que, em locais onde não há sistema de tratamento de água para abastecimento, a combinação filtro e desinfecção domiciliar em águas que apresentam baixa turbidez pode resultar em água com condições adequadas para consumo humano.

Cabe ressaltar que, conforme a Portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde, compete às Secretarias de Saúde dos municípios a vigilância da qualidade da água para esse consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento. Tal documento é caracterizado como um conjunto de ações adotadas, regularmente pela autoridade de saúde pública, objetivando verificar o atendimento aos padrões de potabilidade.

Por fim, constataram-se que embora o Projeto contemplasse a instalação das calhas e de bomba de água com tubulação específica, esses itens não foram instalados nas cisternas das comunidades Chã de Areia e Cocal, conforme registro in locu e relato de membros das comunidades, conforme entrevistas realizadas em dezembro de 2019 e janeiro de 2020. Acredita-se que houve falha do processo de fiscalização da execução do projeto, haja vista, a AAGRA afirma que na ocasião da conclusão das obras foi assinado o Termo de recebimento atestando todos seus equipamentos. Nas demais escolas da Mariana e Jussarinha, as calhas foram retiradas pela prefeitura municipal, após processo de reforma das escolas.

O que se observa, no município de Santana do Mundaú – Alagoas, é pouca mobilização e desinteresse do executivo e do legislativo municipal em comunicar com esse Projeto para a transformação da realidade das escolas rurais contempladas com as cisternas no município.

Contudo, registra-se que, em geral, o Projeto Cisternas na Escola é um exemplo de sucesso de Política Pública no Brasil, tendo reconhecimento de organismos internacionais, como o Fundo das Nações Unidas para a Infância – Unicef, a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação – UNCCD entre outros, e nacionais, como o Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – Consea. O projeto está implantado em vários municípios do Nordeste Brasileiro, transformando para melhor o cenário das escolas rurais e a vida dos que lá estão presentes.

CONCLUSÃO

Das cisternas implantadas nas escolas, apenas a existente na comunidade Mariana vem sendo parcialmente utilizada como reservatório. As demais, embora concluídas desde 2016, estão abandonadas, carentes da instalação das calhas e da bomba de água com tubulação específica para conduzir a água para fora da cisterna.

As estruturas estão desprovidas de qualquer acompanhamento técnico por parte da instituição responsável pela construção, assim como pelo executivo municipal para promoção da manutenção das mesmas. Assim, frustra os

anseios das comunidades e promove insegurança hídrica, além de desperdiçar recursos públicos.

Impera-se a necessidade do abastecimento seguro, perene e suficiente de água potável nas escolas rurais como um direito humano, como promoção e proteção da saúde, assim como o estabelecimento de uma relação mais justa e ética de garantir o direito à água e a promoção da justiça social. É fundamental também a necessidade de ações que elevem o empoderamento social a essas construções.

REFERÊNCIAS

Agência Brasil. **Sistema Nacional de Segurança Alimentar enfrenta desafios**. Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/>>. Acesso em 17 Fev. 2020.

AMORIM, M. C.; PORTO, E. R. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no Município de Petrolina. **Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva No Semiárido**. 3., 2001, Petrolina-PE. Anais... Petrolina: ABCMAC, 2001.

ARAÚJO, I. P. **Tecnologias Sociais e Práticas Educativas Contextualizadas para a Convivência com o Semiárido**. João Pessoa. Tese de Doutorado, UFPB/PB. 2016.

ASA – **Articulação Semiárido Brasileiro**. Disponível em <<<https://www.asabrasil.org.br/>>>. Acesso em 13 Fev. 2020.

BRASIL. **Decreto Federal nº 4.887, de 20 de novembro de 2003**. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos.

BRASIL. **Lei nº 9.055, de 1 de junho de 1995**. Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais e artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências.

BRASIL. **Portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.

BRITO, L. T. de L.; AZEVEDO, S. G. de; ARAÚJO, J. O. Escolas rurais produzem hortaliças e frutas utilizando água de chuva armazenada em cisterna: estudo de caso. **Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**, 8., 2012, Campina Grande: ABCMAC; INSA: UEPB: UFCG: IRPAA; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012.

BRITO, L. T. de L.; PORTO, E. R.; SILVA, A. de S.; SILVA, M. S. L. da HERMES, L. C. MARTINS, S. S. Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. **Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva No Semi-Árido**, 5., 2005, Teresina, PI. Anais... Teresina: ABCMAC; Governo do Estado do Piauí; Embrapa Semi-Árido; IRPAA; ASA, 2005.

BRITO, L. T. L.; GNADLINGER, J. **Avanços nos estudos sobre cisternas: qualidade de água e cisterna de alambrado**. Petrolina: ABCMAC, 2006.

FERREIRA, E. P.; FERREIRA, J. T. P.; PANTALEÃO, F. S.; FERREIRA, Y. P.; ALBUQUERQUE, K. N. A.; FERREIRA, T. C. Abastecimento de água para consumo humano em comunidades quilombolas no município de Santana do Mundaú – AL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.07, n.06 (2014) 1119-1125.

FERREIRA, E. P.; PANATELEÃO, F. S. Saneamento básico em comunidades quilombolas no estado de Alagoas. **Revista GEOTemas**, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil, v.6, n.2, p.71-82, Jul./Dez. 2016.

GNADLINGER, J. **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande/PB, 2015.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.) – (2010) **Abastecimento de água para consumo humano** – Belo Horizonte: editora UFMG, p.859.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. IBGE Cidades. Disponível em <<<https://cidades.ibge.gov.br>>>. Acesso em 11 Fev. 2020.

ITB – Instituto Trata Brasil. **A importância da Higiene Sanitária nas Escolas**. Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br>> Acesso em 17 Fev. 2020.

LIBÂNIO, M. (2010). **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. Edição - Campinas: Átomo, p.444, (2010).

LORDELO, L. M. K.; BORJA, P. C.; PORSANI, M. J.; MORAES, L. R. S.; ORRICO, S. R. M. Avaliação do uso e funcionamento das cisternas do P1MC – um estudo no Semiárido Baiano. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. p. 107-121, 2017.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>>. Acesso em 17 Fev. 2020.

OPAS/OMS – **Organização Pan-Americana da Saúde. 2,1 bilhões de pessoas não têm água potável em casa e mais do dobro não dispõem de saneamento seguro**. Disponível em <<<https://www.paho.org/bra/>>>. Acesso em 17 Fev. 2020.

Organización Panamericana de la Salud – OPAS. **Agua y saneamiento: em La búsqueda de nuevos paradigmas para las Américas**. Washington. D.C.: OPAS, p.284.

ORRICO, S. R. M. Sistema associativo de saneamento e seus efeitos sobre a população em comunidades do semiárido baiano. **Tese: Apresentada a Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública**. Departamento de Saúde Ambiental para obtenção do grau de Doutor. USP - São Paulo, 2003.

PEREIRA, E. M. Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada. São Carlos. **Tese de Doutorado em Engenharia Geotécnica** – USP – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

RAZZOLINI, M. T. P. e GÜNTHER, W. M. R. Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água. **Revista Saúde e Sociedade**. São Paulo, v.17, n.1, p.21-32.

RUSKIN, R. H.; PATRICK, S. C. Maintenance of cistern water quality in the Virgin Islands. St. Thomas, U. S. Virgin Islands: **Caribbean Research Institute**, University of the Virgin Islands, 1988. (Technical Report n. 30).

SCHISTEK, H. Eliminação de vazamentos em cisternas de captação de água da chuva. **7º Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva**. Caruaru – PE, outubro de 2009.

SILVA J. A. L.; MEDEIROS M. C. S.; DANTAS H. F. S. A.; FREITAS, J.P.; AZEVEDO, P.V. Captação de água de chuva em cisternas de placa: instrumento de gestão sustentável e socioambiental. **Polêmica**, v. 12, n. 3, p. 499-510, 2013.

SILVA, N. M. D. Qualidade microbiológica das águas de chuva em cisternas da área rural do município de Inhambupe, no semiárido baiano e seus fatores intervenientes. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 3, n. 2 (2015).

SIMMONS, G.; HOPE, V.; LEWIS, G.; WHITMORE, J.; GAO, W. Contamination of potable roof collected rainwater in Auckland. New Zealand. **Water Resource**, v. 35, p. 1518-1524, 2001.

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância. Boas práticas: água e saneamento nas escolas do Semiárido – **caderno nº 6**. Janeiro de 2017.

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância. Água Potável, Saneamento e Higiene nas Escolas: Relatório de Linha de Base Global de 2018. Disponível em << <https://www.unicef.org/brazil/> >>. Acesso em 17 fev. 2020.

WATERAID. **Transforming health systems: the vital role of water, dosing and hygiene**. Disponível em <https://www.wateraid.org/us/> >>. Acesso em 17 Fev. 2020.

XAVIER, R. P. Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas do semiárido paraibano. 2010. 114f. **Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental)** - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO ALTIPLANO ANDINO: TECNOLOGIAS PASSIVAS E MATERIAIS INOVADORES PARA O CONFORTO TÉRMICO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Arnaldo Jorge Condori Palomino

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios

Juan Alexander Condori Palomino

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Fredy Sosa Gutiérrez

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Humberto Mamani Coaquira

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

José Antonio Supo Gutiérrez

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Oscar Gustavo Guadalupe Zevallos

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios

Jorge Rosales Gallegos

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Ruby Juniors Álvarez Arteaga

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Grover Linder Flores Ponce

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Néstor Omar Mercado Ayamamani

Universidad Nacional del Altiplano de Puno

RESUMO

Nas terras altas dos Andes, o frio extremo é um problema de saúde e de habitabilidade que afeta milhões de pessoas. As moradias rurais altoandinas, em geral construídas em adobe sem isolamento e com muita infiltração de ar, oferecem pouca proteção contra as baixas temperaturas e as geadas, de modo que a temperatura interna durante a madrugada é quase igual à externa. Este capítulo revisa o estado da arte sobre a habitação bioclimática voltada ao frio extremo de altitude, com foco no contexto altoandino, especialmente o do altiplano de Puno, no Peru. São apresentados os fundamentos do conforto térmico e da arquitetura bioclimática e discutidas as principais estratégias passivas para captar, armazenar e conservar o calor: a captação solar, a estufa anexa, a massa térmica, o isolamento e o controle da infiltração. O texto detalha o muro Trombe, tecnologia passiva de aquecimento solar com bons resultados nos Andes, e os materiais de mudança de fase, que armazenam calor latente e representam a fronteira de inovação na área. Reúnem-se ainda evidências de desempenho, fórmulas básicas de transmitância e armazenamento de calor, e uma síntese comparativa de custo e adequação das soluções ao contexto local. Conclui-se que é possível alcançar conforto térmico no frio extremo com baixo consumo de energia, aproveitando a abundante radiação solar do altiplano, desde que as tecnologias sejam adaptadas aos materiais, aos recursos e aos saberes locais, com apoio de políticas públicas e de pesquisa aplicada.

Palavras-chave: Habitação Bioclimática; Conforto Térmico; Muro Trombe; Materiais de Mudança de Fase; Altiplano Andino.

INTRODUÇÃO

Nas terras altas dos Andes, o frio é uma questão de sobrevivência. Acima dos 3.500 metros de altitude, as temperaturas médias rondam os 7 °C e as mínimas podem despencar bem abaixo de zero durante as geadas, que no Peru se concentram sobre o departamento de Puno (MOLINA *et al.*, 2025). Para as famílias que vivem nessas regiões, o friaje recorrente significa noites mal dormidas, doenças respiratórias e perdas econômicas, com impacto maior sobre crianças e idosos.

O problema se agrava porque as moradias rurais altoandinas, em geral construídas em adobe sem isolamento e com muita infiltração de ar, oferecem pouca proteção contra o frio. Medições de campo mostram que, durante a madrugada, a temperatura interna dessas casas é praticamente igual à externa, ou seja, a edificação quase não protege seus moradores (MOLINA *et al.*, 2021). Aquecer esses ambientes com energia convencional é caro e muitas vezes inviável, dada a dispersão das comunidades e a economia de subsistência.

Diante desse quadro, a arquitetura bioclimática surge como a resposta mais promissora. Em vez de combater o frio com aquecimento ativo, ela busca aproveitar os recursos naturais disponíveis, sobretudo a abundante radiação solar do altiplano, para manter o interior aquecido com baixo ou nenhum consumo de energia. A esse repertório de estratégias passivas somam-se hoje materiais inovadores, como os de mudança de fase, capazes de armazenar calor de maneira mais eficiente.

Este capítulo revisa o estado da arte sobre habitação bioclimática para o frio extremo de altitude, articulando o problema climático, os fundamentos do conforto térmico, as estratégias passivas consagradas, o muro Trombe e os materiais de mudança de fase. O objetivo é oferecer a estudantes, pesquisadores e profissionais um panorama crítico das soluções disponíveis e de sua adequação ao contexto altoandino.

O PROBLEMA: CLIMA ALTOANDINO E DESEMPENHO TÉRMICO DAS MORADIAS

O clima do altiplano andino combina características que o tornam especialmente hostil à habitação. A altitude elevada reduz a densidade do ar e a sua capacidade de reter calor; a baixa umidade e o céu limpo favorecem grandes perdas de calor por radiação durante a noite. O resultado é uma amplitude térmica diária enorme, com dias relativamente amenos sob sol forte e noites de frio intenso. Em alguns pontos, as mínimas absolutas já alcançaram cerca de -28°C , o que dá a dimensão do rigor enfrentado pelas moradias. Em compensação, nas regiões acima de 3.500 metros a radiação solar disponível é alta, entre 5,5 e 7,0 kWh/m² por dia, um recurso precioso para o aquecimento passivo (MOLINA *et al.*, 2025).

As moradias tradicionais, porém, aproveitam mal esse potencial. Construídas com paredes de adobe de boa inércia, mas sem isolamento na cobertura e com frestas por onde o ar escapa, perdem durante a noite quase todo o calor acumulado de dia. A cobertura costuma ser o ponto mais crítico, por onde se vai a maior parte do calor. Soma-se a isso o fato de que muitas casas ficam vazias durante o dia, quando a família trabalha no campo ou com o gado, de modo que o calor do sol não é aproveitado nem armazenado (MOLINA *et al.*, 2021).

As consequências vão além do desconforto. A exposição prolongada ao frio dentro de casa está associada a infecções respiratórias agudas, que atingem sobretudo as crianças, e contribui para a vulnerabilidade dessas populações (WIESER; RODRÍGUEZ-LARRAÍN; ONNIS, 2021). Melhorar o desempenho térmico das moradias é, portanto, uma questão de saúde pública, e não apenas de conforto.

FUNDAMENTOS DO CONFORTO TÉRMICO E DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

O conforto térmico pode ser definido como o estado em que a pessoa se sente satisfeita com o ambiente térmico ao seu redor. Os modelos clássicos, baseados em câmaras climatizadas, expressam essa sensação por meio de índices como o voto médio estimado (ASHRAE, 2017). Para edificações sem climatização artificial, no entanto, o modelo adaptativo descreve melhor a realidade,

pois reconhece que as pessoas se ajustam ao clima local com roupas, hábitos e expectativas, de modo que a faixa de temperaturas tida como confortável é mais ampla do que a prevista pelos modelos estáticos (DE DEAR; BRAGER, 1998). Essa perspectiva é especialmente útil no altiplano, onde os moradores já estão habituados a temperaturas baixas.

A arquitetura bioclimática parte justamente dessa relação entre clima, edificação e ser humano. Sistematizada por autores como Olgyay e Givoni, ela propõe projetar a edificação de modo a tirar o melhor partido do clima local, reduzindo a necessidade de energia para aquecer ou resfriar (OLGYAY, 1963; GIVONI, 1992). Em climas frios, isso significa captar e armazenar o calor do sol, reduzir as perdas pela envoltória e controlar a entrada de ar frio.

Do ponto de vista técnico, o desempenho da envoltória é descrito pela sua transmitância térmica (U), que mede a facilidade com que o calor atravessa um elemento construtivo. Ela é o inverso da resistência térmica total (R) do elemento, conforme a Equação 1:

$$U = 1 / R T \quad (1)$$

Quanto menor o valor de U, melhor o isolamento. A perda de calor por um componente da envoltória depende dessa transmitância, da área (A) e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior (ΔT), de acordo com a Equação 2:

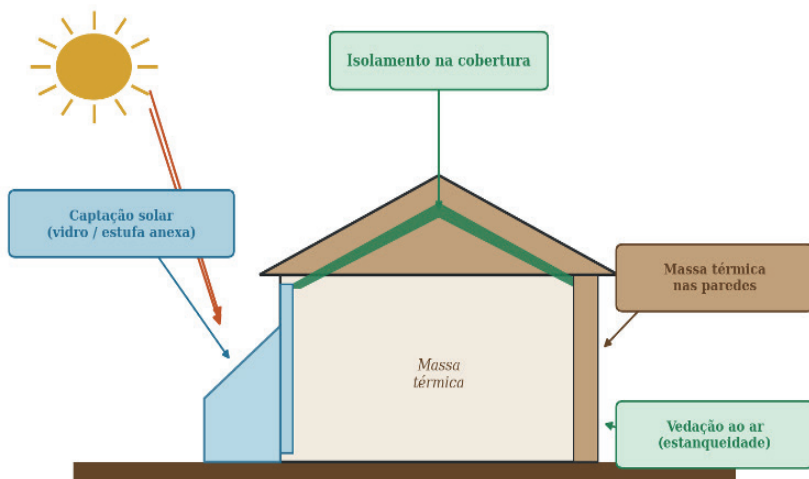
$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

Essas relações deixam claro por que o isolamento e o controle das perdas são tão decisivos: reduzir U e as infiltrações diminui diretamente a energia necessária para manter o ambiente aquecido. No Peru, a norma técnica EM.110 estabelece valores máximos de transmitância para pisos, paredes e coberturas em função da zona bioclimática, fornecendo um parâmetro de projeto (PERÚ, 2014). Para as zonas mais frias, recomenda-se que a transmitância da cobertura permaneça em torno de $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, o que costuma exigir isolamento adicional em relação à construção tradicional.

ESTRATÉGIAS PASSIVAS PARA O FRIO EXTREMO

As estratégias bioclimáticas passivas para o frio combinam três objetivos: ganhar calor, armazená-lo e não deixá-lo escapar. A Figura 1 reúne as principais delas aplicadas a uma habitação altoandina.

Figura 1. Estratégias bioclimáticas passivas em uma habitação altoandina.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025), com base em Molina et al. (2025).

Captação solar passiva

O primeiro objetivo é capturar a energia do sol. Isso se faz orientando a edificação e suas aberturas envidraçadas para a face de maior incidência solar, que no hemisfério sul é a norte, e dimensionando janelas e superfícies para deixar o sol entrar no inverno. Uma solução particularmente eficaz no altiplano é a estufa anexa, um pequeno volume envidraçado acoplado à parede voltada ao sol que funciona como coletor: o ar aquecido em seu interior é transferido para os ambientes. Revisões sobre as moradias altoandinas apontam as estufas anexas e os lanternins entre as técnicas passivas mais efetivas para elevar a temperatura interna; em mais de quatrocentas moradias andinas equipadas com estufas anexas, registraram-se aumentos de 3 a 5 °C no ambiente interno, suficientes para reduzir o estresse causado pelo frio (MOLINA *et al.*, 2025).

Massa térmica e isolamento

De nada adianta captar calor se ele se perde logo em seguida. Por isso, a captação precisa vir acompanhada de massa térmica e de isolamento. A massa térmica, fornecida por paredes pesadas de adobe ou pedra, absorve o calor durante o dia e o devolve aos poucos durante a noite, amortecendo a oscilação de temperatura. O isolamento, por sua vez, reduz as perdas pela envoltória e deve ser concentrado onde elas são maiores, sobretudo na cobertura. Materiais locais de baixa condutividade, como a totora do lago Titicaca, vêm sendo estudados como isolantes de baixo custo e boa disponibilidade (MOLINA *et al.*, 2021).

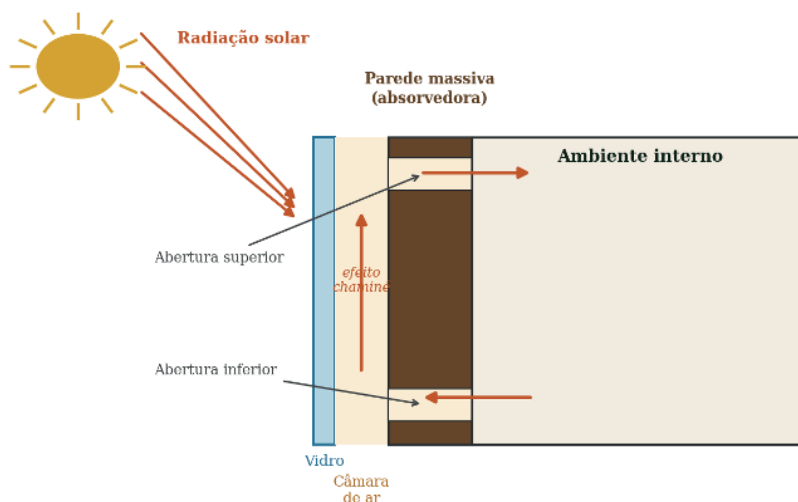
Controle da infiltração de ar

O terceiro objetivo é conter o ar frio. As frestas em portas, janelas e encontros de elementos deixam entrar ar gelado e escapar o ar aquecido, anulando boa parte do esforço de isolamento. Vedar essas aberturas e prever vestíbulos na entrada melhora bastante o desempenho, com custo muito baixo. É importante, contudo, equilibrar a estanqueidade com uma ventilação mínima que garanta a qualidade do ar interno.

O MURO TROMBE: AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

Entre as tecnologias passivas, o muro Trombe é uma das mais conhecidas para aquecimento solar. Popularizado nos anos 1960, ele consiste em uma parede massiva voltada ao sol, pintada de cor escura para absorver melhor a radiação e recoberta externamente por um vidro, com uma pequena câmara de ar entre ambos. Durante o dia, a parede absorve o calor do sol; aberturas na parte superior e inferior permitem que o ar circule por convecção, formando o chamado efeito chaminé: o ar frio do ambiente entra pela abertura inferior, aquece-se na câmara e retorna pela abertura superior. À noite, a parede continua liberando para dentro o calor armazenado. A Figura 2 representa esse funcionamento.

Figura 2. Funcionamento do muro Trombe.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Estudos realizados nos Andes peruanos confirmam o potencial dessa solução. Em uma habitação de adobe simulada na região, o conforto térmico era baixo na situação tradicional, com voto médio estimado em torno de $-1,9$ (sensação de frio), e passou a satisfatório com a incorporação de um muro Trombe, alcançando temperaturas próximas dos $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos meses mais frios (HOLGUINO; OLIVERA; ESCOBAR, 2018). Para evitar que o fluxo se inverta e a parede perca calor nas noites mais frias, recomenda-se fechar as aberturas ou usar isolamento móvel sobre o vidro ao anoitecer. O muro Trombe destaca-se, assim, como uma alternativa de aquecimento eco-sustentável adequada à realidade altoandina, por usar apenas o sol e materiais simples. Seu desempenho pode ainda ser ampliado quando a parede massiva é combinada com materiais de mudança de fase, tema da seção seguinte.

MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM): ARMAZENAMENTO DE CALOR LATENTE

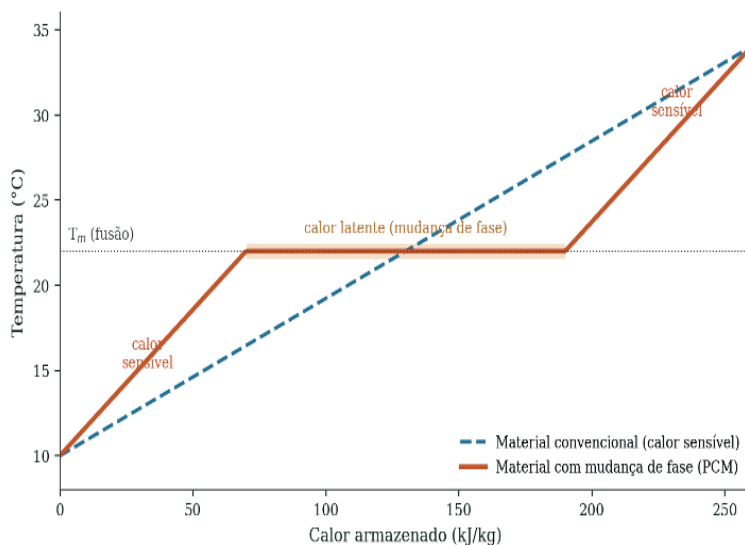
As estratégias anteriores armazenam calor na forma de calor sensível, isto é, elevando a temperatura da massa térmica. Os materiais de mudança de fase, conhecidos pela sigla PCM, oferecem um princípio diferente e mais eficiente:

armazenam calor latente. Ao serem aquecidos até sua temperatura de fusão, eles mudam de estado, em geral de sólido para líquido, absorvendo grande quantidade de energia sem que a temperatura suba; ao esfriar, solidificam e devolvem esse calor. A energia armazenada por um PCM combina, portanto, uma parcela sensível e uma parcela latente, conforme a Equação 3:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T + m \cdot L \quad (3)$$

em que m é a massa, c_p o calor específico, ΔT a variação de temperatura e L o calor latente de fusão. A grande vantagem é que a parcela latente permite armazenar muito mais energia em um volume reduzido e em uma faixa estreita de temperatura, próxima do conforto. A Figura 3 ilustra essa diferença: enquanto um material convencional aquece de forma contínua, o PCM mantém a temperatura praticamente estável durante a mudança de fase, acumulando energia nesse patamar.

Figura 3. Armazenamento de calor: material convencional e material de mudança de fase (PCM).



Fonte: Elaborada pelos autores (2025), com base em Cabeza et al. (2011).

Os PCM dividem-se, de modo geral, em orgânicos, como as parafinas e os ácidos graxos, e inorgânicos, como os hidratos de sal. Os primeiros são

quimicamente estáveis e pouco corrosivos; os segundos armazenam mais calor por unidade de volume, mas exigem cuidados contra a separação de fases. Em ambos os casos, o material costuma ser encapsulado para evitar vazamentos quando se liquefaz, o que permite incorporá-lo com segurança às paredes e às coberturas (CABEZA *et al.*, 2011).

Incorporados a paredes, coberturas ou ao próprio muro Trombe, os PCM ajudam a estabilizar a temperatura interna, reduzindo os picos de frio e de calor e diminuindo a demanda de energia (CABEZA *et al.*, 2011). Estudos sobre muros Trombe com PCM em climas frios indicam economias expressivas de energia de aquecimento, desde que a temperatura de fusão do material seja bem escolhida para a faixa de conforto local (ZHOU *et al.*, 2024). É justamente nesse ponto que reside o desafio de projeto: um PCM com fusão muito alta não chega a mudar de fase no frio do altiplano, enquanto um com fusão muito baixa não acumula calor útil.

SÍNTESE: DESEMPENHO, CUSTO E ADEQUAÇÃO AO CONTEXTO

Reunidas, essas soluções formam um repertório que vai do mais simples ao mais sofisticado. A escolha entre elas deve considerar não só o desempenho térmico, mas também o custo e a viabilidade no contexto altoandino, marcado por economias de subsistência e pela disponibilidade de materiais locais. A Tabela 1 compara as principais estratégias segundo esses critérios.

Tabela 1. Estratégias para o conforto térmico no altiplano: princípio, custo e adequação.

Estratégia	Princípio	Custo relativo	Adequação ao contexto altoandino
Isolamento da cobertura	Reduz perdas de calor	Baixo	Alta (prioritária)
Vedação ao ar	Reduz a infiltração	Muito baixo	Alta
Captação solar/estufa anexa	Ganho de calor solar	Baixo a médio	Alta
Massa térmica (adobe, pedra)	Armazena calor sensível	Baixo (material local)	Alta
Muro Trombe	Aquecimento solar por convecção	Médio	Média a alta
Materiais de mudança de fase (PCM)	Armazena calor latente	Alto	Baixa a média (inovação)

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

A leitura da tabela sugere um caminho de implementação gradual. O isolamento da cobertura e a vedação ao ar são as medidas de melhor relação custo-benefício e devem vir primeiro. A captação solar e a massa térmica, muitas vezes já presentes na construção tradicional, podem ser potencializadas a baixo custo. O muro Trombe agrega aquecimento significativo com materiais acessíveis, enquanto os PCM, mais caros e dependentes de fornecimento externo, representam a fronteira de inovação, com grande potencial, mas adequação econômica ainda limitada para a habitação rural.

DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Apesar das evidências favoráveis, levar essas soluções às moradias altoandinas enfrenta obstáculos concretos. O principal é o custo, agravado pela economia de subsistência das famílias e pela dispersão das comunidades, que encarece o transporte de materiais. Programas governamentais de melhoria habitacional, como as iniciativas de casas térmicas no Peru, instalaram pisos, forros, vestíbulos e muros Trombe em milhares de moradias, mas ainda são insuficientes diante da magnitude do problema (MOLINA *et al.*, 2025).

Há também desafios técnicos e institucionais. Faltam, com frequência, dados quantitativos sobre o desempenho térmico real das envoltórias e sobre as temperaturas necessárias a uma vida saudável, o que dificulta o projeto e a avaliação (MOLINA *et al.*, 2025). A norma EM.110 oferece parâmetros, mas sua aplicação na construção rural informal é limitada. Avançar exige combinar inovação e tradição: usar materiais locais como o adobe e a totora, validar protótipos junto às próprias comunidades e adaptar tecnologias como o muro Trombe e os PCM às condições e aos recursos do território.

As perspectivas são promissoras. A combinação de estratégias passivas consagradas com materiais inovadores, apoiada em simulação térmica e em validação experimental, abre caminho para moradias confortáveis com baixo consumo de energia mesmo no frio extremo. Para isso, é fundamental o papel da pesquisa e da formação, capazes de gerar conhecimento adaptado ao contexto e de capacitar profissionais sensíveis à realidade altoandina. A habitação bioclimática deixa de ser, então, um problema apenas técnico para se

tornar uma contribuição concreta à qualidade de vida e à sustentabilidade dessas comunidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O frio extremo das terras altas andinas é um desafio de habitabilidade que a engenharia e a arquitetura podem enfrentar com soluções sustentáveis. Este capítulo mostrou que a habitação bioclimática, ao aproveitar a abundante radiação solar do altiplano e ao controlar as perdas de calor, é capaz de melhorar de forma significativa o conforto térmico sem depender de aquecimento convencional. Estratégias passivas como a captação solar, a massa térmica, o isolamento e o muro Trombe, somadas a materiais inovadores como os de mudança de fase, formam um repertório robusto e progressivo.

A passagem desse repertório do projeto à realidade depende de superar barreiras de custo, normalização e escala, e de respeitar os materiais e os saberes locais. Mais do que importar tecnologias, trata-se de adaptá-las ao território, com participação das comunidades e apoio de políticas públicas. Nessa direção, a habitação bioclimática se afirma como uma resposta de engenharia ao mesmo tempo técnica, ambiental e socialmente justa para o altiplano andino.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- CABEZA, L. F.; CASTELL, A.; BARRENECHE, C.; DE GRACIA, A.; FERNÁNDEZ, A. I. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1675-1695, 2011.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, n. 1, p. 145-167, 1998.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- HOLGUINO, A.; OLIVERA, L.; ESCOBAR, K. U. Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los Andes del Perú. **Revista de Investigaciones Altoandinas**, v. 20, n. 3, p. 289-300, 2018.

MOLINA, J. R.; LEFEBVRE, G.; ESPINOZA, R.; HORN, M.; GÓMEZ, M. M. Bioclimatic approach for rural dwellings in the cold, high Andean region: a case study of a Peruvian house. **Energy and Buildings**, v. 231, art. 110605, 2021.

MOLINA, J. R.; MOLINA, J. O.; PIÑAS, M. J.; HORN, M.; GÓMEZ, M. High Andean bioclimatic dwellings in Peru: climatic conditions, vulnerability of the population and review of academic studies and massification programmes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 217, art. 115690, 2025.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PERÚ. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. **Norma EM.110: confort térmico y lumínico con eficiencia energética**. Lima: MVCS, 2014.

WIESER, M.; RODRÍGUEZ-LARRAÍN, S.; ONNIS, S. Bioclimatic strategies for high altitude tropical cold climate: prototype validation in Orduña, Puno, Perú. **Estoa**, v. 10, n. 19, p. 9-19, 2021.

ZHOU, S.; SONG, M.; SHAN, K.; RAZAQPUR, A. G.; HUANG, J. J. Parametric and optimization analyses of a dynamic Trombe wall incorporating PCM to save heating energy under cold climate zones. **Renewable Energy**, v. 237, 2024.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LA ALBUFERA DE MEDIO MUNDO BASADA EN VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

Fredy Américo Zamora Jaquima

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú

Walter Javier Díaz Cartagena

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental de la Albufera de Medio Mundo mediante la integración de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos, con el fin de diagnosticar su estado actual y amenazas principales. La metodología fue cuantitativa, no experimental y transversal, considerando cuatro estaciones de muestreo para agua y macroinvertebrados, y análisis de bioacumulación de metales pesados en *Oreochromis niloticus* y macrófitos (*Schoenoplectus californicus*, *Typha domingensis* y *S. americanus*). Los resultados mostraron concentraciones elevadas de fósforo y nitrógeno total, bajos niveles de oxígeno disuelto y altos coliformes termotolerantes, superando los límites del ECA-Agua; el índice BMWP/ Col clasificó tres estaciones como "crítica" y una como "muy crítica". Se detectaron niveles de Pb y Cd en peces y macrófitos por encima de los valores normativos, con mayores acumulaciones en *S. californicus*. En conclusión, la Albufera presenta un estado de alta degradación ambiental, influenciado por descargas y actividades agrícolas, lo que demanda acciones urgentes de control, restauración ecológica y monitoreo continuo para salvaguardar su integridad y servicios ecosistémicos.

Palabras clave: humedales; eutrofización; bioindicadores; bioacumulación; calidad ambiental.

INTRODUCCIÓN

Los humedales constituyen uno de los ecosistemas más productivos del planeta, desempeñando funciones esenciales como la regulación hidrológica, la depuración natural del agua, la provisión de hábitats críticos para la biodiversidad y la captura de carbono (Ramsar Convention Secretariat, 2022). Sin embargo, su degradación es alarmante: desde 1700 se ha perdido más del 85% de los humedales a nivel global, y la tendencia persiste impulsada por el cambio climático, la contaminación y el cambio de uso del suelo (Davidson, 2014; Gardner *et al.*, 2015). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021) advierte que la desaparición de humedales afecta directamente a la seguridad alimentaria y a la resiliencia frente a eventos extremos. En este escenario, la calidad ambiental de estos ecosistemas se convierte en un indicador clave de su capacidad de sostener funciones ecológicas y servicios ecosistémicos. La combinación de factores antrópicos — vertimientos domésticos e industriales, sobreexplotación de recursos, urbanización no planificada— con dinámicas naturales, está provocando cambios rápidos e irreversibles en su estructura y funcionamiento (Mitsch & Gosselink, 2021). Frente a esta realidad, evaluar de forma integral la calidad ambiental de humedales específicos es fundamental para orientar medidas de conservación y gestión adaptativa, especialmente en regiones con alta presión demográfica y económica.

La evaluación de la calidad ambiental en humedales requiere integrar indicadores fisicoquímicos, biológicos e hidromorfológicos, dado que cada uno aporta información complementaria sobre el estado del ecosistema (Dudgeon *et al.*, 2006; Von der Ohe & Liess, 2004). Los parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, conductividad, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y metales pesados permiten identificar procesos de eutrofización, contaminación orgánica e inorgánica, y alteraciones en la dinámica trófica (Wetzel, 2001; Carvalho *et al.*, 2019). Por su parte, los bioindicadores —incluyendo macroinvertebrados acuáticos, peces y macrófitos— reflejan cambios en la calidad del agua y en la integridad ecológica a mediano y largo plazo, siendo herramientas costo-efectivas para el monitoreo ambiental (Rosenberg & Resh, 1993; Roldán, 2016). La combinación de ambos enfoques ofrece una visión más robusta que la obtenida únicamente

mediante análisis químicos puntuales, ya que incorpora la respuesta biológica acumulada frente a las perturbaciones. Estudios recientes han demostrado que integrar índices biológicos, como el BMWP/Col, con análisis de bioacumulación en biota permite identificar no solo la presencia de contaminantes, sino también su impacto potencial sobre la red trófica (Álvarez-Cabria *et al.*, 2016; Dalu & Froneman, 2016). A pesar de los avances metodológicos, persiste la necesidad de generar datos actualizados para humedales en zonas costeras de alta presión antrópica, donde la dinámica de contaminación puede ser altamente variable en el tiempo y el espacio.

En América Latina, los humedales costeros cumplen un rol estratégico en la conectividad ecológica y en la sustentabilidad de las pesquerías, además de ser refugio de aves migratorias (Junk *et al.*, 2013). No obstante, enfrentan amenazas crecientes vinculadas a la expansión agrícola, la descarga de efluentes no tratados y el desarrollo urbano informal (Aponte *et al.*, 2020). En el Perú, los humedales costeros como Pantanos de Villa, Ventanilla, Puerto Viejo y la Albufera de Medio Mundo han sido reconocidos como ecosistemas frágiles y de importancia internacional por la Convención Ramsar (MINAM, 2021). Sin embargo, informes recientes evidencian deterioro en su calidad de agua, pérdida de cobertura vegetal nativa y cambios en la composición de especies, atribuidos principalmente a la contaminación hídrica y la fragmentación del hábitat (Urbina *et al.*, 2022; Aguirre-Soto & Nieto-Juárez, 2024). Este deterioro no solo amenaza la biodiversidad local, sino que también compromete la provisión de servicios ecosistémicos esenciales como la regulación de inundaciones y la depuración de contaminantes. A nivel normativo, aunque existen estándares de calidad ambiental para agua (ECA-Agua, DS N.º 004-2017-MINAM), su aplicación y fiscalización en humedales es aún limitada, lo que evidencia la brecha entre el marco legal y la gestión efectiva.

La Albufera de Medio Mundo, ubicada en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, región Lima, constituye uno de los humedales más extensos y singulares de la costa central peruana, con una superficie de 687,71 ha, de las cuales 206,91 ha corresponden al espejo de agua (Gobierno Regional de Lima, 2022). Su ubicación estratégica, a pocos kilómetros del litoral, le permite recibir influencias tanto marinas como continentales, lo que genera un ecosistema de transición

con elevada diversidad biológica (Plan Maestro ACRAMM 2023–2027). Este humedal alberga especies de flora como *Schoenoplectus californicus* y *Typha domingensis*, y fauna acuática que incluye peces nativos y exóticos, así como macroinvertebrados y aves migratorias de importancia internacional (MINAM, 2021). No obstante, diversos reportes han documentado cambios notables en su composición biótica, disminución en la cobertura de vegetación nativa y la proliferación de especies invasoras, atribuibles en gran medida a alteraciones en la calidad del agua y a la presión humana (Mendoza & Quiroz, 2023). La proximidad de centros poblados y de actividades agroindustriales, sumada a un turismo poco regulado, aumenta el riesgo de descargas de contaminantes y sedimentación excesiva. En este contexto, la Albufera no solo enfrenta amenazas ecológicas, sino que también se ve comprometida como fuente de sustento económico y cultural para las comunidades locales.

Entre los principales impulsores de cambio que afectan a la Albufera de Medio Mundo destacan las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, la escorrentía agrícola con alto contenido de nutrientes y pesticidas, y la extracción no regulada de recursos vegetales como totora y junco (Aponte *et al.*, 2020; Urbina *et al.*, 2022). La filtración de la poza de oxidación de aguas residuales del centro poblado Medio Mundo, identificada desde el Plan Maestro 2015–2019 y confirmada en el plan vigente 2023–2027, constituye una fuente continua de contaminación orgánica y microbiológica. Asimismo, las actividades avícolas y agrícolas situadas aguas arriba liberan fertilizantes y agroquímicos que promueven procesos de eutrofización, manifestados en floraciones algales y disminución de oxígeno disuelto (Chiclla, 2022).

Estas condiciones favorecen la dominancia de especies tolerantes a ambientes degradados y reducen la diversidad de organismos sensibles, alterando las redes tróficas y afectando los servicios ecosistémicos asociados, como la regulación de nutrientes y la provisión de hábitats críticos (Roldán, 2016). La suma de estas presiones, junto con la falta de una vigilancia ambiental continua, potencia la vulnerabilidad del humedal ante eventos climáticos extremos y podría conducir a un punto de no retorno en su capacidad de resiliencia ecológica.

La medición simultánea de variables fisicoquímicas y biológicas es esencial para obtener un diagnóstico completo del estado ambiental de humedales como

la Albufera de Medio Mundo. Los parámetros fisicoquímicos, tales como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fósforo total, nitrógeno total y metales pesados (As, Cd, Hg, Pb), permiten identificar focos y tendencias de contaminación, así como inferir procesos como eutrofización o intrusión salina (Carvalho *et al.*, 2019; Wetzel, 2001). Sin embargo, estas mediciones reflejan condiciones puntuales y pueden variar según la época del muestreo. Por ello, los bioindicadores, como los macroinvertebrados acuáticos evaluados mediante el índice BMWP/Col, ofrecen una visión integrada de la calidad del agua en el tiempo, al incorporar la respuesta biológica acumulada a perturbaciones (Álvarez-Cabria *et al.*, 2016). De manera complementaria, el análisis de bioacumulación en peces y macrófitos detecta contaminantes persistentes que no siempre se evidencian en el agua, pero que pueden escalar en la cadena trófica y generar riesgos para la fauna y la salud humana (Burger *et al.*, 2020). La integración de estos indicadores permite establecer no solo el estado actual, sino también tendencias y posibles escenarios de evolución de la calidad ambiental, lo que resulta crítico para diseñar estrategias de manejo y restauración.

A pesar de la importancia ecológica y socioeconómica de la Albufera de Medio Mundo, las evaluaciones integrales que combinen análisis fisicoquímicos y biológicos son escasas y, en muchos casos, desactualizadas. La mayoría de los estudios previos se han centrado en caracterizaciones puntuales o en el monitoreo de uno solo de estos componentes, lo que limita la comprensión de las interacciones entre calidad del agua y biodiversidad (Mendoza & Quiroz, 2023; Chiclla, 2022). Esta brecha de información dificulta la toma de decisiones basadas en evidencia y la implementación de medidas de manejo adaptativo. Además, la falta de monitoreos regulares impide detectar a tiempo cambios críticos que podrían derivar en colapsos ecológicos. En un contexto de incremento de la presión antrópica y de variabilidad climática, disponer de datos integrales y actualizados no solo contribuye a la conservación del humedal, sino que también ofrece insumos para el diseño de políticas públicas de gestión ambiental (MINAM, 2021). Evaluar la Albufera mediante una aproximación multivariable y multidisciplinaria permitirá establecer líneas base sólidas y priorizar acciones de mitigación que atiendan tanto a las fuentes de contaminación como a la recuperación de su integridad ecológica.

En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental de la Albufera de Medio Mundo mediante la integración de indicadores fisicoquímicos y biológicos, con el fin de determinar su estado actual y las principales amenazas a su biodiversidad. Para ello, se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad, y la bioacumulación de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) en peces y macrófitos. La metodología adoptada siguió protocolos estandarizados y se apoyó en laboratorios acreditados, garantizando la confiabilidad de los resultados. Esta aproximación integral busca no solo diagnosticar el estado del humedal, sino también proporcionar una base científica que oriente estrategias de monitoreo, control y restauración, contribuyendo así a la conservación de uno de los ecosistemas más valiosos de la costa central del Perú. La información generada es relevante para autoridades ambientales, comunidades locales y la comunidad científica, ya que aporta evidencia sólida para enfrentar las presiones actuales y prevenir la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales.

METODOLOGÍA

El diseño de este estudio es cuantitativo y no experimental, de corte transversal, orientado a la evaluación de la calidad ambiental de la Albufera de Medio Mundo mediante la integración de variables fisicoquímicas y biológicas. Este enfoque permite describir y analizar el estado del ecosistema en un momento específico, identificando la relación entre los vertimientos de contaminantes y la biodiversidad presente. El objetivo central de la metodología es caracterizar la calidad del agua y la integridad ecológica a partir de parámetros medidos directamente en el campo y en laboratorio, siguiendo protocolos estandarizados.

La unidad de análisis del estudio está constituida por el agua superficial, la biota acuática (macroinvertebrados y peces) y la vegetación macrófita del humedal. La población de estudio incluye todo el ecosistema de la Albufera de Medio Mundo, que abarca 687,71 ha, con un espejo de agua de 206,91 ha y 294,55 ha de cobertura vegetal. La muestra se definió mediante un muestreo aleatorio simple, seleccionando:

- 4 estaciones para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en agua.
- 4 estaciones para colecta de macroinvertebrados acuáticos.
- 4 estaciones para captura de peces (*Oreochromis niloticus*).
- 7 estaciones para muestreo de macrófitos (*Schoenoplectus californicus*, *Typha domingensis*, *Schoenoplectus americanus*).

El procedimiento de recolección de datos se estructuró en varias etapas:

Muestreo y análisis de agua

Las muestras de agua fueron recolectadas siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016). Se midieron in situ temperatura, pH, oxígeno disuelto

(OD) y conductividad eléctrica (CE) con un medidor multiparámetro calibrado. Las muestras fueron preservadas y enviadas al laboratorio acreditado por INACAL (SGS Perú S.A.) para determinar fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), nitratos (NO_3^-), amoníaco total (NH_3), selenio (Se) y coliformes termotolerantes. Los resultados se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua, DS N.º 004-2017-MINAM).

Muestreo y análisis de macroinvertebrados

La colecta se realizó con red tipo "D" (malla 500 μm), muestreando hábitats representativos en cada estación. Los especímenes fueron preservados en etanol al 70% y determinados taxonómicamente hasta nivel de familia. La calidad del agua se evaluó mediante el índice BMWP/ Col, clasificando las estaciones en cinco categorías: buena, aceptable, dudosa, crítica y muy crítica.

Muestreo y análisis de bioacumulación en peces y macrófitos

Los peces fueron capturados mediante redes de arrastre y trampas; los macrófitos se recolectaron manualmente (30 g de raíz y tallo). Todas las muestras se preservaron en condiciones de refrigeración y fueron enviadas a la Unidad

de Servicios de Análisis Químicos (USAQ-UNMSM). Se analizó la concentración de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) usando espectrometría de absorción atómica (método USAQ-ME-04 AAS), con límites de detección establecidos por el laboratorio.

Procesamiento de datos y análisis estadístico

Los datos fisicoquímicos se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk). Para variables con distribución normal se aplicó la prueba t de Student (muestras independientes) y, para variables no normales, la prueba de Wilcoxon. En el caso de macroinvertebrados, se calcularon el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), el índice de equidad de Pielou (J') y el BMWP/Col. Los resultados fueron procesados y analizados en R (v.4.3.1) y SPSS (v.26), considerando significancia estadística para $p < 0,05$.

RESULTADOS

Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos reveló que varios excedieron los valores establecidos por los ECA-Agua (Categoría 4-E1). En particular, el fósforo total (PT) y el nitrógeno total (NT) mostraron concentraciones elevadas, indicativas de procesos de eutrofización, mientras que el oxígeno disuelto (OD) estuvo por debajo de los niveles óptimos para la vida acuática en tres de las cuatro estaciones. La presencia de coliformes termotolerantes también excedió los límites permitidos, lo que refleja aportes significativos de aguas residuales domésticas como se observa en la Tabla 1.

Macroinvertebrados como bioindicadores

La evaluación de macroinvertebrados acuáticos mediante el índice BMWP/Col mostró que tres estaciones se clasificaron en calidad "crítica" y una en "muy crítica". La baja diversidad de taxones y la predominancia de familias tolerantes

a la contaminación (ej. Chironomidae) reflejan un ecosistema sometido a fuertes presiones antrópicas, como se observa en la Tabla 2.

Bioacumulación en peces

El análisis de *Oreochromis niloticus* evidenció concentraciones de Pb y Cd superiores a los límites máximos permitidos por SANIPES y la FAO/OMS para consumo humano. El Hg y As se detectaron en concentraciones bajas pero constantes como se observa en la Tabla 3.

Bioacumulación en macrófitos

La evaluación de macroinvertebrados acuáticos medió Los tres géneros de macrófitos analizados presentaron acumulación de Pb y Cd en raíces y tallos, con mayores concentraciones en *Schoenoplectus californicus*. Este patrón sugiere que las plantas actúan como sumideros de metales, pero también como potenciales vectores hacia la cadena trófica, como se observa en la Tabla 4.

Análisis integrado y patrones espaciales

La integración de resultados fisicoquímicos, biológicos y de bioacumulación mostró un patrón espacial consistente: las estaciones más cercanas a descargas directas de aguas residuales y escurrimiento agrícola presentaron peor calidad ambiental. La coincidencia de eutrofización, baja diversidad de macroinvertebrados y bioacumulación de metales confirma un escenario de presión múltiple sobre el ecosistema, tal como se muestra en la Tabla 5.

El análisis integral de la calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica del ecosistema evidencia un estado ambiental comprometido por diversas presiones antrópicas. Las altas concentraciones de fósforo y nitrógeno total, junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, indican eutrofización avanzada que favorece organismos oportunistas, reduce la resiliencia del sistema y degrada hábitats de especies sensibles. Los elevados coliformes termotolerantes confirman aportes constantes de aguas residuales sin tratamiento, incrementando el

riesgo sanitario. La composición de macroinvertebrados, dominada por familias tolerantes y con bajas puntuaciones BMWP/Col, confirma un impacto sostenido.

Además, se observó que las concentraciones de metales pesados presentan variaciones estacionales influenciadas por el régimen hidrológico, siendo más elevadas durante la época seca debido a la menor dilución y al aumento de la conductividad del agua. Este patrón confirma la influencia de fuentes puntuales y difusas asociadas a descargas mineras y agrícolas, que intensifican la contaminación en periodos de bajo caudal. Los valores de Pb y Cd exceden los límites permisibles establecidos por la OMS y la FAO, generando un riesgo directo para la seguridad alimentaria y la salud humana. Asimismo, la relación entre los niveles de metales y parámetros como pH, materia orgánica y oxígeno disuelto evidencia procesos de bioacumulación y biomagnificación activos en el ecosistema. Ante ello, se recomienda aplicar tecnologías de fitorremediación, fortalecer la fiscalización ambiental y promover prácticas agrícolas sostenibles orientadas a reducir el ingreso de contaminantes a los cuerpos de agua.

Tabla 1 - Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la Albufera de Medio Mundo y comparación con ECA-Agua (Categoría 4-E1).

Estación	Temp. (°C)	pH	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	NO (mg/L)	NH (mg/L)	Se (mg/L)	Coliformes (NMP/100 mL)
E1	21,4	7,6	4,2	1450	0,21	2,35	0,28	0,13	0,012	920
E2	22,0	7,8	3,9	1620	0,25	2,50	0,32	0,14	0,015	1050
E3	21,8	7,7	4,0	1550	0,23	2,40	0,30	0,12	0,011	890
E4	21,5	7,5	5,1	1380	0,18	2,10	0,25	0,10	0,010	780

Tabla 2 - Índice BMWP/Col y clasificación de la calidad del agua en macroinvertebrados acuáticos.

Estación	Nº Familias	BMWP/Col	Categoría	Color cartográfico
E1	6	22	Crítica	Naranja
E2	5	18	Crítica	Naranja
E3	4	12	Muy crítica	Rojo
E4	7	28	Crítica	Naranja

Tabla 3 - Concentración de metales pesados en *Oreochromis niloticus* y comparación con límites normativos.

Estación	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	LMP SANIPES (mg/kg)	Cumplimiento
E1	0,08	0,18	0,05	0,45	As: 0,5; Cd: 0,05; Hg: 0,5; Pb: 0,3	No (Cd, Pb)
E2	0,09	0,16	0,04	0,40	As: 0,5; Cd: 0,05; Hg: 0,5; Pb: 0,3	No (Cd, Pb)
E3	0,07	0,14	0,06	0,38	As: 0,5; Cd: 0,05; Hg: 0,5; Pb: 0,3	No (Cd, Pb)
E4	0,06	0,15	0,04	0,35	As: 0,5; Cd: 0,05; Hg: 0,5; Pb: 0,3	No (Cd, Pb)

Tabla 4 - Concentración de metales pesados en macrófitos por especie.

Especie	Estación	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Schoenoplectus	E1	0,05	0,12	0,02	0,50
Schoenoplectus	E2	0,06	0,11	0,03	0,48
Typha domingensis	E3	0,04	0,10	0,02	0,46
Schoenoplectus	E4	0,05	0,09	0,02	0,44

Tabla 5 - Síntesis de calidad ambiental por estación (integrando indicadores).

Estación	Calidad fisicoquímica	Calidad biológica (BMWP/Col)	Bioacumulación peces	Bioacumulación macrófitos	Evaluación global
E1	No cumple ECA	Crítica	Excede Cd, Pb	Excede Pb	Alta degradación
E2	No cumple ECA	Crítica	Excede Cd, Pb	Excede Pb	Alta degradación
E3	No cumple ECA	Muy crítica	Excede Cd, Pb	Excede Pb	Muy alta degradación
E4	No cumple ECA	Crítica	Excede Cd, Pb	Excede Pb	Alta degradación

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que la Albufera de Medio Mundo presenta un estado ambiental comprometido, caracterizado por la superación de los límites establecidos en el ECA-Agua para varios parámetros fisicoquímicos, baja diversidad biológica según el índice BMWP/Col y presencia de metales pesados en la biota. Esta condición coincide con lo planteado por Davidson (2014) y Gardner *et al.* (2015), quienes advierten que la degradación acelerada de humedales a nivel global está fuertemente asociada a presiones antrópicas como la urbanización, el vertimiento de efluentes y la intensificación agrícola.

En cuanto a la calidad fisicoquímica del agua (Tabla 1), las concentraciones elevadas de fósforo total y nitrógeno total indican un proceso de eutrofización similar al documentado por Paredes (2020) en la marisma de Doñana, donde el

aporte excesivo de nutrientes por escorrentía agrícola y descargas no tratadas redujo la calidad del agua y afectó la biodiversidad acuática. En nuestro estudio, la baja concentración de oxígeno disuelto y el incremento de coliformes termotolerantes reflejan la influencia de aguas residuales domésticas, confirmando la problemática ya advertida en el Plan Maestro ACRAMM 2023–2027.

La comunidad de macroinvertebrados mostró un predominio de familias tolerantes a la contaminación, como Chironomidae, y puntuaciones BMWP/Col en rangos “crítica” y “muy crítica” (Tabla 2). Este patrón concuerda con lo descrito por Roldán (2016), quien indica que la reducción de la riqueza taxonómica y la dominancia de especies tolerantes son indicadores confiables de alteraciones crónicas en la calidad del agua. Estudios regionales como el de Canales *et al.* (2022) en los Humedales de Ventanilla reportaron resultados semejantes, asociando estos valores bajos a la presión urbana y agrícola.

En los peces (*Oreochromis niloticus*), las concentraciones de Cd y Pb excedieron los límites de SANIPES y FAO/OMS (Tabla 3). Este hallazgo coincide con lo reportado por Burger *et al.* (2020), quienes señalaron que la acumulación de metales pesados en peces de humedales urbanos no solo afecta la salud de las poblaciones ictícolas, sino que implica riesgos para la salud humana cuando forman parte de la dieta local. El patrón de bioacumulación observado sugiere aportes continuos de metales desde actividades agrícolas, industriales y residuos urbanos.

Los macrófitos presentaron acumulaciones de Pb y Cd, especialmente *Schoenoplectus californicus* (Tabla 4). Esto refuerza lo señalado por Álvarez-Cabria *et al.* (2016) y Dalu & Froneman (2016), quienes describen que los macrófitos actúan como sumideros de contaminantes, pero su aprovechamiento artesanal o pecuario puede movilizar nuevamente los metales en la cadena trófica. Este doble papel convierte su manejo en un aspecto clave de la gestión ambiental.

El análisis integrado (Tabla 5) muestra que las estaciones con mayor proximidad a descargas y zonas agrícolas concentran las peores condiciones ambientales.

Este patrón espacial es comparable con lo descrito por Urbina *et al.* (2022) para humedales costeros de Lima, donde la proximidad a fuentes de contaminación determina gradientes claros de degradación ambiental. Además, la coincidencia de eutrofización, baja diversidad y bioacumulación de metales

respalda lo indicado por Mitsch & Gosselink (2021) sobre la naturaleza multifactorial del deterioro de humedales.

En conjunto, estos resultados confirman que la Albufera de Medio Mundo enfrenta un deterioro estructural y funcional impulsado por múltiples factores, tal como lo advirtieron Aponte *et al.* (2020) para humedales de la región Lima. La integración de variables fisicoquímicas y biológicas no solo permitió diagnosticar el estado actual del ecosistema, sino que evidenció la urgencia de implementar un monitoreo permanente y medidas de mitigación adaptadas a la complejidad del sistema.

CONCLUSIONES

La evaluación integrada de variables fisicoquímicas, biológicas y de bioacumulación permitió diagnosticar que la Albufera de Medio Mundo presenta un estado ambiental deteriorado, evidenciado por concentraciones de nutrientes y coliformes que exceden los límites del ECA-Agua, bajos niveles de oxígeno disuelto y signos de eutrofización.

El análisis de macroinvertebrados acuáticos, a través del índice BMWP/Col, reveló una comunidad biológica dominada por especies tolerantes a la contaminación, con calificaciones de calidad “crítica” y “muy crítica” en la mayoría de estaciones, lo que confirma el impacto sostenido de presiones antrópicas sobre la integridad ecológica del humedal.

Las concentraciones de Pb y Cd en *Oreochromis niloticus* superaron los valores máximos permisibles establecidos por SANIPES y la FAO/OMS, lo que constituye un riesgo potencial para la salud de las poblaciones humanas que consumen estos peces y evidencia la persistencia de fuentes de contaminación metálica en el sistema.

Los macrófitos evaluados, especialmente *Schoenoplectus californicus*, mostraron acumulaciones significativas de metales pesados en raíces y tallos, desempeñando un papel dual como sumideros y posibles vectores de contaminantes hacia otros niveles tróficos si no se regula su uso.

El patrón espacial identificado demuestra que las zonas más cercanas a descargas de aguas residuales y áreas agrícolas presentan peores condiciones

ambientales, lo que confirma la influencia determinante de las actividades humanas en la degradación de la Albufera.

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones previas en humedales costeros del Perú y del mundo, y refuerzan la necesidad de implementar estrategias de manejo adaptativo que incluyan control de vertimientos, buenas prácticas agrícolas, restauración ecológica y monitoreo continuo de la calidad ambiental.

Contribución de autoría

Conceptualización: Fredy Américo Zamora Jaquima; Curación de datos: Fredy Américo Zamora Jaquima; Análisis formal: Walter Javier Díaz Cartagena; Adquisición de fondos: Fredy Américo Zamora Jaquima; Investigación: Fredy Américo Zamora Jaquima; Metodología: Fredy Américo Zamora Jaquima y Walter Javier Díaz Cartagena; Administración del proyecto: Walter Javier Díaz Cartagena; Recursos: Fredy Américo Zamora Jaquima; Software: Fredy Américo Zamora Jaquima; Supervisión: Fredy Américo Zamora Jaquima; Validación: Walter Javier Díaz Cartagena; Visualización: Fredy Américo Zamora Jaquima y Walter Javier Díaz Cartagena; Redacción – borrador original: Fredy Américo Zamora Jaquima; Redacción – revisión y edición: Walter Javier Díaz Cartagena.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento

Fondos propios.

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-CABRIA, M.; BARQUÍN, J.; PEÑAS, F. J. Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: relationships with natural and anthropogenic factors. **Science of the Total Environment**, v. 545–546, p. 152–162, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.109.
- APONTE, H.; RAMÍREZ, M.; TORRES, P. Amenazas y conservación de humedales costeros en el Perú. **Revista Peruana de Biología**, v. 27, n. 3, p. 245–258, 2020. DOI: 10.15381/rpb.v27i3.17640.
- BURGER, J.; GOCHFELD, M.; JEITNER, C. Metal levels in fish from estuarine and freshwater habitats: risk assessment for human consumption. **Environmental Research**, v. 183, p. 109193, 2020.
- CANALES, G.; PAREDES, D.; RIVAS, J. Calidad ecológica de humedales costeros de Lima, Perú. **Ecología Aplicada**, v. 21, n. 2, p. 89–100, 2022. DOI: 10.21704/rea.v21i2.1714.
- DALU, T.; FRONEMAN, P. W. Macroinvertebrate communities as indicators of water quality in South African estuaries. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 565–574, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.003.
- DAVIDSON, N. C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. **Marine and Freshwater Research**, v. 65, n. 10, p. 934–941, 2014. DOI: 10.1071/MF14173.
- GARDNER, R. C.; FINLAYSON, C. M.; DAVIDSON, N. C. The Ramsar Convention and ecosystem-based approaches to the wise use and sustainable development of wetlands. **Journal of International Wildlife Law & Policy**, v. 18, n. 3, p. 195–208, 2015. DOI: 10.1080/13880292.2015.1079259.
- MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 6. ed. Wiley, 2021. DOI: 10.1002/9781119826983.
- PAREDES, M. Eutrofización y pérdida de biodiversidad en humedales mediterráneos: caso de estudio en la marisma de Doñana. **Revista de Estudios Ambientales**, v. 12, n. 1, p. 45–60, 2020. DOI: 10.14198/REA2020.12.103.
- ROLDÁN, G. Los macroinvertebrados y su valor como bioindicadores de la calidad del agua. **Actualidades Biológicas**, v. 38, n. 105, p. 55–70, 2016. DOI: 10.17533/udea.acbi.v38n105a05.
- URBINA, J.; SALAZAR, R.; PÉREZ, A. Impacto de las descargas domésticas y agrícolas en humedales costeros de Lima, Perú. **Revista Peruana de Ecología**, v. 4, n. 1, p. 25–36, 2022. DOI: 10.21704/rpe.v4i1.1891.

GOVERNANÇA, ESG E GREENWASHING: EVIDÊNCIAS SOBRE SUSTENTABILIDADE EM SETORES PRODUTIVOS BRASILEIROS

Sinara Silva Pinheiro Lopes

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Pablo Falco Lopes

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Luiz Cláudio Louzada

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

RESUMO

Objetivo: investigar se a governança corporativa se associa de forma homogênea ao greenwashing ou se seu efeito varia ao longo da distribuição do desalinhamento entre divulgação ambiental, social e de governança e desempenho ambiental. **Métodos:** analisaram-se 970 observações firma-ano de 105 empresas brasileiras listadas entre 2010 e 2023. A governança é um escore de oito atributos do conselho e o greenwashing corresponde à diferença padronizada entre divulgação e desempenho ambiental. Estimam-se mínimos quadrados ordinários e regressões quantílicas com bootstrap clusterizado por subsetor. **Resultados:** o efeito médio da governança não é significativo. Nos quantis, a associação é positiva em 0,10 e negativa em 0,75, embora testes formais não confirmem diferença entre os coeficientes. Firms de maior greenwashing concentram-se mais em setores de alta intensidade de carbono (51,9% versus 40,2%). Entre cinco análises de robustez, três reproduzem o sinal negativo na região superior, enquanto efeitos fixos aditivos por firma atenuam o padrão. **Conclusão:** a perspectiva distribucional revela padrões direcionais que a média pode ocultar, ainda que testes formais não confirmem diferença estatística entre os coeficientes; a evidência permanece associativa, não causal. Os achados reforçam a relevância de conectar governança, comunicação de sustentabilidade e transformação ambiental em contextos produtivos.

Palavras-chave: divulgação ambiental; governança corporativa; greenwashing; regressão quantílica; sustentabilidade empresarial.

INTRODUÇÃO

A expansão da agenda ESG ampliou a demanda por informações capazes de conectar compromissos corporativos e desempenho ambiental efetivo. Essa questão é especialmente relevante em setores produtivos e intensivos em recursos e ativos físicos, nos quais mudanças ambientais substantivas podem exigir investimentos, adaptações tecnológicas e horizontes temporais mais longos do que a atualização da comunicação corporativa. Nesses contextos, a qualidade da informação ESG depende não apenas da quantidade de disclosure, mas da correspondência entre o que a empresa comunica e o desempenho ambiental que efetivamente entrega. Do ponto de vista da engenharia e da gestão de ativos, esse descompasso é particularmente relevante: decisões sobre infraestrutura, processos produtivos e tecnologia limpa seguem ciclos de investimento mais longos do que a atualização de relatórios de sustentabilidade, o que torna a comunicação ambiental um indicador imperfeito da transformação efetivamente em curso nos espaços produtivos.

Um efeito médio nulo pode esconder dois tipos de firma que se cancelam mutuamente: aquelas em que a governança estimula, ainda que modestamente, a divulgação ambiental, e aquelas em que a governança disciplina divulgações desconectadas do desempenho real. Esta é a proposição central deste estudo: a governança corporativa não afeta o greenwashing de forma uniforme entre as firmas, e um modelo de média condicional, como o de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), pode ser cego a esse padrão precisamente porque ele calcula uma média entre comportamentos opostos. O greenwashing é definido aqui como a diferença entre o que as firmas divulgam sobre seu desempenho ambiental e o que de fato realizam (Delmas; Burbano, 2011; Marquis *et al.*, 2016). Estudos anteriores mostram que fatores macroeconômicos e institucionais, como a incerteza de commodities e de política climática, também influenciam os incentivos das firmas à divulgação ambiental (Baker *et al.*, 2016; Gavrilidis, 2021), o que justifica controlar empiricamente por esse ambiente macroeconômico neste modelo; este trabalho, contudo, desloca o foco para uma questão ainda pouco explorada nessa linha de pesquisa: se o efeito disciplinador da governança varia ao longo da distribuição do greenwashing.

A teoria da agência oferece o mecanismo geral: quando o monitoramento dos gestores é fraco, estes podem preferir os benefícios reputacionais de uma comunicação ambiental exagerada aos investimentos mais custosos necessários para melhorias reais de desempenho (Jensen; Meckling, 1976). Mas essa mesma teoria, combinada com a teoria da sinalização (Connelly *et al.*, 2011), sugere que o efeito da governança sobre esse comportamento não precisa ser constante: o espaço para a governança atuar depende de quão grande já é o descolamento entre divulgação e desempenho em cada firma, o que é, por definição, uma característica que varia ao longo da distribuição do greenwashing, não da média da amostra. Testar essa proposição exige, portanto, um método que estime efeitos condicionais em diferentes pontos da distribuição da variável dependente, e não apenas em sua média, o que motiva o uso da regressão quantílica (Koenker; Bassett, 1978) neste estudo. A regressão quantílica é a ferramenta que permite testar a proposição; a heterogeneidade do efeito da governança é a contribuição central deste trabalho.

A governança corporativa é um dos principais mecanismos disciplinadores propostos pela literatura de agência. Conselhos mais independentes, com maior diversidade e comitês dedicados de sustentabilidade podem reduzir o espaço para divulgação oportunista ao ampliar monitoramento e responsabilização (Jensen; Meckling, 1976; Suchman, 1995). A evidência empírica, contudo, não é uniforme. Em firmas latino-americanas, Husted e Sousa-Filho (2019) mostram que atributos de governança podem elevar ou reduzir a divulgação ESG conforme o mecanismo e o contexto. Estudos recentes aprofundam essa heterogeneidade: Chen e Dagestani (2023), Ma e Ahmad (2024) e Zahid *et al.* (2025) associam diversidade e características do conselho a menor greenwashing; Lee *et al.* (2025) encontram papel relevante da independência e da diversidade de gênero, com moderação parcial de conexões políticas e da sensibilidade ambiental do setor; por outro lado, Pratama *et al.* (2025) mostram que estruturas formais de governança da sustentabilidade nem sempre impedem greenwashing. Consistente com essa literatura, este estudo mede a governança por um escore composto de oito atributos do conselho, alinhado às práticas recomendadas pelo Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (2023).

Poucos estudos permitiram que o efeito da governança sobre o greenwashing variasse ao longo de sua distribuição. Métodos quantílicos já mostram que relações ESG podem ser heterogêneas: Teng *et al.* (2021) constataam que o risco ESG afeta o crescimento sustentável apenas em determinados quantis; Veeravel *et al.* (2024) mostram que a relação entre divulgação ESG e desempenho muda ao longo da distribuição; e Muhammad e Tadele (2026), em estudo recente sobre controvérsias ESG, identificam efeitos distintos de mecanismos de governança por regressão quantílica. Essa lente tem paralelo em uma literatura econométrica mais ampla sobre efeitos heterogêneos e regressões quantílicas em dados em painel (Firpo *et al.*, 2009; Arellano; Bonhomme, 2016; Canay, 2011; Powell, 2022). Identificar coeficientes diferentes em quantis distintos, porém, não é o mesmo que demonstrar estatisticamente que esses coeficientes diferem entre si; a distinção exige teste formal de igualdade, como o proposto por Koenker e Xiao (2002).

A questão de pesquisa deste estudo é: a governança corporativa afeta o greenwashing de forma homogênea entre as firmas, ou esse efeito depende da posição da firma na distribuição do greenwashing? Para respondê-la, foi construído um painel de firmas brasileiras listadas entre 2010 e 2023 (970 observações firma-ano, 105 firmas), estimando um modelo por regressão quantílica em cinco quantis. Esta pesquisa contribui para a literatura de três formas: (1) propõe e testa a ideia de que a governança atua como mecanismo disciplinador condicional ao nível prévio de descolamento entre divulgação e desempenho de cada firma, e não como um efeito uniforme sobre o greenwashing, um argumento sustentado por coeficientes positivos na cauda inferior e negativos na cauda superior da distribuição do greenwashing, um padrão que um modelo de média condicional (MQO) não detecta nesta amostra; (2) submete esse padrão a um teste formal de igualdade entre quantis e a cinco análises de robustez, incluindo regressão quantílica incondicional, efeito fixo aditivo por firma e uma especificação exploratória com interação entre governança e incerteza de política climática, relatando os resultados com transparência; e (3) caracteriza o perfil setorial e econômico das firmas nas duas extremidades da distribuição do greenwashing.

A teoria da agência prevê que conselhos mais fortes (mais independentes, mais diversos e com comitês dedicados de sustentabilidade) reduzem o espaço

para que gestores usem a divulgação ambiental de forma oportunista, pois fiscalizam mais de perto a correspondência entre o que é comunicado e o que é de fato realizado (Jensen; Meckling, 1976). Segundo essa visão mais simples, a governança deveria reduzir o greenwashing de maneira relativamente uniforme entre as firmas, uma previsão que corresponde, em essência, ao que um modelo de média condicional como o MQO está equipado para testar.

Um mecanismo alternativo, no entanto, prevê que o efeito da governança não é o mesmo em toda a distribuição do greenwashing, e a razão é uma condição de contorno simples: a governança só pode disciplinar um descolamento entre divulgação e desempenho que já exista. Entre as firmas cujo desempenho ambiental já é relativamente próximo do que divulgam (a cauda inferior da distribuição do GW), o problema de agência que a governança combate já é pequeno; nesse contexto, atributos de governança como comitês de sustentabilidade podem, inclusive, estimular a firma a divulgar mais informação ambiental sem que isso represente descolamento em relação ao desempenho, o que produziria uma associação positiva, e não negativa, entre governança e GW nesse segmento. Já entre firmas em que a diferença entre divulgação e desempenho é maior (a cauda superior da distribuição), a governança tem mais espaço para atuar como mecanismo disciplinador, de modo que seu efeito tende a ser mais negativo exatamente nesses segmentos (Marquis *et al.*, 2016). Esse argumento é reforçado pela evidência de Husted e Sousa-Filho (2019), que mostram que, em firmas latino-americanas, a direção do efeito de atributos de governança sobre a divulgação ESG não é uniforme, variando conforme o atributo e o contexto da firma, e é consistente com a teoria da sinalização (Connelly *et al.*, 2011), segundo a qual o valor informativo de um mecanismo de monitoramento depende do que ele tem para revelar.

Essa condição de contorno gera uma previsão testável e direcional: se a governança atua como mecanismo disciplinador que se torna mais relevante quanto maior o descolamento a corrigir, a associação entre governança e GW deveria ser mais positiva (ou menos negativa) nos quantis inferiores da distribuição do greenwashing do que nos quantis superiores. Sua confirmação depende não apenas de coeficientes com sinais diferentes em quantis diferentes, mas de uma diferença estatisticamente distinguível entre eles, testada formalmente nos resultados principais.

A expectativa formulada é, portanto, de heterogeneidade na associação entre governança e greenwashing ao longo da distribuição. Essa previsão não implica, por si só, uma interpretação causal dos coeficientes estimados, que permanecem condicionais ao desenho observacional e às covariáveis incluídas no modelo.

H1: A associação entre governança corporativa e greenwashing é mais positiva (ou menos negativa) nos quantis inferiores da distribuição do greenwashing do que nos quantis superiores, sendo esse padrão compatível com maior espaço para a atuação disciplinadora da governança onde o descolamento entre divulgação e desempenho é maior.

MÉTODOS

Dados e amostra

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados na LSEG (atributos de governança do conselho e dados contábeis) e na Bloomberg (escores de divulgação ESG), para firmas brasileiras listadas no período de 2010 a 2023. A classificação setorial por intensidade de carbono segue a taxonomia de alto carbono da Febraban. O painel completo, com pelo menos uma variável de governança, financeira ou ESG disponível, totaliza 4265 observações firma-ano (360 firmas). Como o greenwashing contínuo exige que tanto o escore de divulgação ESG quanto o escore de desempenho ambiental estejam disponíveis simultaneamente, a amostra é reduzida para 989 observações com essa medida calculável. Após a exclusão listwise das observações com valores ausentes em qualquer covariável do modelo, a amostra final de estimação totaliza 970 observações firma-ano (105 firmas). As variáveis contínuas foram winsorizadas nos percentis 1 e 99 para reduzir a influência de valores extremos. A Tabela 1 apresenta os procedimentos de seleção da amostra.

Tabela 1 - Seleção da amostra.

Procedimentos de selecao da amostra	Obs.	Firmas
Numero total de observacoes firma-ano (2010-2023), todos os setores	4265	360
Com GW contínuo calculavel (has_gw = 1)	989	
Amostra final de estimacao (apos exclusao listwise dos controles)	970	105

Os subsetores seguem NAICS de três dígitos e definem os 43 clusters do bootstrap.

Fonte: Dados da pesquisa.

Mensuração das variáveis

Com base na abordagem de diferença entre divulgação e desempenho (Delmas; Burbano, 2011; Marquis *et al.*, 2016), o greenwashing (GW) é medido como a diferença padronizada dentro de cada ano entre o escore de divulgação ESG da Bloomberg e o escore do pilar ambiental da LSEG (ENSCORE): $GW = z(\text{Divulgação ESG}) - z(\text{Desempenho Ambiental})$, winsorizada nos percentis 1 e 99. Um GW positivo indica que a firma divulga mais do que seu desempenho ambiental efetivo justificaria. Para a segunda análise de robustez, também é utilizada a versão não padronizada dessa diferença (GW bruto), calculada diretamente sobre os escores originais, sem a padronização por ano.

A governança é medida por um escore composto de oito atributos binários do conselho, descritos na Tabela 2. Os oito indicadores binários são somados diretamente em uma contagem de 0 a 8 por firma-ano (média de 6.16 na amostra final), posteriormente padronizada (z-score) na amostra de estimação para compor a variável GOV utilizada no modelo. Para a primeira análise de robustez, a governança também é operacionalizada como uma variável dummy para os extremos da distribuição: firmas com contagem bruta maior ou igual a 7 são classificadas como “governança alta” (n = 490) e firmas com contagem bruta menor ou igual a 5 como “governança baixa” (n = 480), que, somadas, cobrem a totalidade da amostra de estimação (nenhuma firma da amostra final apresenta contagem bruta igual a 6).

A incerteza de commodities e política climática (CCPU) segue a abordagem de mensuração de incerteza baseada em frequência de palavras-chave em jornais, desenvolvida por Baker, Bloom e Davis (2016) para incerteza de política econômica geral e estendida ao domínio climático por Gavriilidis (2021). A CCPU entra no modelo como covariável de controle de efeito direto, sem termo de interação com a governança: seu papel aqui é o de um fator macroeconômico que pode afetar o greenwashing por canais teóricos distintos dos da governança (pressão por legitimidade em períodos de maior incerteza versus maior escrutínio de divulgações não sustentadas por desempenho real), e não o de uma segunda variável de interesse hipotética deste estudo. Embora a literatura mostre que a incerteza climática pode influenciar incentivos à divulgação ambiental, neste estudo seu papel é reduzir potencial confusão associada a choques macroeconômicos comuns às firmas na estimação da associação entre governança e greenwashing.

Tabela 2 - Definição das principais variáveis.

Dimensao	Variavel	Definicao	Principais Autores
Variavel dependente	GW	Diferença padronizada (z, dentro de cada ano) entre o escore de divulgação ESG (Bloomberg) e o escore de desempenho ambiental (Refinitiv ENSCORE), winsorizada a 1% e 99%. GW bruto (não padronizado) é utilizado na segunda análise de robustez como variável dependente alternativa.	Delmas e Burbano (2011); Marquis <i>et al.</i> (2016); Hummel e Schlick (2016)
Variaveis independentes	GOV (z)	Contagem de 0 a 8 dos componentes de governança da Tabela 2, padronizada (z-score) na amostra de estimação. GOV Alta (dummy, primeira robustez) = 1 se contagem bruta >= 7, 0 se <= 5 (cobre a totalidade da amostra de estimação; nenhuma firma apresenta contagem igual a 6).	Husted e Sousa-Filho (2019)
Variaveis de controle	CCPU	Índice de incerteza de commodities e política climática (Gavriilidis, 2021), baseado em frequência de palavras-chave em jornais; incluído como covariável de efeito direto (sem termo de interação com governança).	Baker <i>et al.</i> (2016); Gavriilidis (2021)
	SIZE	Logaritmo natural do ativo total (Refinitiv/LSEG).	Clarkson <i>et al.</i> (2008); Santos e Santos (2026)
	CASH	Caixa e equivalentes de caixa sobre ativo total.	Santos e Santos (2026)
	PPE	Imobilizado (property, plant and equipment) sobre ativo total.	Clarkson <i>et al.</i> (2008)
	MTB	Valor de mercado sobre valor contábil do patrimônio líquido (market-to-book).	Veeravel <i>et al.</i> (2024)
	ROA	Retorno sobre o ativo (lucro líquido / ativo total).	Veeravel <i>et al.</i> (2024); Santos e Santos (2026)
	Alto Carbono	Binária: 1 se o subsetor pertence a taxonomia de alta intensidade de carbono (Febraban); 0 caso contrário.	Suchman (1995)
	HHI	Índice de Herfindahl-Hirschman de concentração setorial, calculado a partir do market share de vendas dentro de cada subsetor-ano.	Braga <i>et al.</i> (2023)
	Market Share	Participação da firma nas vendas totais do seu subsetor-ano.	Braga <i>et al.</i> (2023)
	LEV	Alavancagem: dívida total sobre ativo total.	Petersen (2009); Santos e Santos (2026)
	Incerteza / Confiança / Ciclo	Binárias derivadas de indicadores macroeconômicos do IBGE (alta incerteza; baixa confiança do consumidor/empresarial; fase do ciclo econômico).	Baker <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Elaboração dos autores com base nas fontes e referências do estudo.

Modelo empírico e inferência

O modelo empírico estimado para testar H1 é expresso na equação abaixo. O modelo foi estimado por regressão quantílica (Koenker; Bassett, 1978), que estima o quantil condicional tau da variável dependente em vez da sua média condicional, seguindo uma literatura que mostra como métodos quantílicos capturam efeitos heterogêneos invisíveis a modelos de média condicional (Firpo *et al.*, 2009; Arellano; Bonhomme, 2016; Powell, 2022). Um modelo de MQO equivalente é estimado como termo de comparação nos resultados principais.

O modelo completo relaciona o GW à governança, à CCPU e a todas as variáveis de controle utilizadas na especificação principal:

$$Q_{\tau}(GW_{it}) = \beta_0(\tau) + \beta_1(\tau)GOV_{it} + \beta_2(\tau)CCPU_t + \beta_3(\tau)SIZE_{it} + \beta_4(\tau)CASH_{it} \\ + \beta_5(\tau)PPE_{it} + \beta_6(\tau)MTB_{it} + \beta_7(\tau)ROA_{it} + \beta_8(\tau)LEV_{it} \\ + \beta_9(\tau)AC_i + \beta_{10}(\tau)HHI_{st} + \beta_{11}(\tau)MS_{it} \\ + \beta_{12}(\tau)INC_t + \beta_{13}(\tau)CONF_t + \beta_{14}(\tau)CICLO_t$$

em que SIZE representa o logaritmo natural do ativo total; CASH, caixa e equivalentes sobre o ativo total; PPE, imobilizado sobre o ativo total; MTB, market-to-book; ROA, retorno sobre o ativo; LEV, dívida total sobre o ativo total; AC, indicador de subsetor de alta intensidade de carbono; HHI, concentração setorial calculada no subsetor-ano; MS, market share da firma no subsetor-ano; INC, indicador de alta incerteza macroeconômica; CONF, indicador de baixa confiança; e CICLO, indicador da fase do ciclo econômico. Os subscritos i, s e t identificam firma, subsetor e período, respectivamente. A CCPU é mantida separadamente por constituir o controle macroeconômico explicitamente discutido no desenvolvimento do modelo. Na especificação principal, a CCPU entra como efeito direto, sem interação com GOV. Como análise adicional de robustez, o modelo é posteriormente reestimado com a CCPU centralizada na média (CCPU_c) e com o termo GOV × CCPU_c, preservando as demais covariáveis da especificação principal. O modelo foi estimado para $\tau \in \{0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 0,90\}$, com o algoritmo simplex de ponto interior implementado no QuantReg do statsmodels (Python). Os erros-padrão de todos os coeficientes foram obtidos por bootstrap clusterizado por subsetor (Efron, 1979; Cameron; Miller, 2015), reamostrando os 43 clusters de subsetor NAICS com reposição (500 réplicas). A diferença entre os coeficientes de governança estimados nos

quantis 0,10 e 0,75 é testada formalmente seguindo a lógica de inferência sobre o processo de regressão quantílica de Koenker e Xiao (2002), reamostrando os mesmos clusters simultaneamente para os dois quantis em cada réplica; um teste conjunto de Wald complementa essa análise para os cinco quantis. Além dos testes de robustez tradicionais, o padrão principal é reexaminado por regressão quantílica incondicional (RIF), por especificação de painel com efeito fixo aditivo por firma (Canay, 2011) e por uma especificação exploratória com interação $GOV \times CCPU_c$.

A regressão quantílica é adequada à pergunta de pesquisa porque permite verificar se a inclinação associada à governança varia entre firmas posicionadas em diferentes pontos da distribuição condicional do greenwashing. A inferência utiliza bootstrap clusterizado por subsetor, preservando dependência intragrupo. Além das significâncias individuais, são realizados teste formal de igualdade entre os coeficientes de governança nos quantis 0,10 e 0,75 e teste conjunto entre os cinco quantis.

RESULTADOS

Evidências descritivas e perfil das caudas

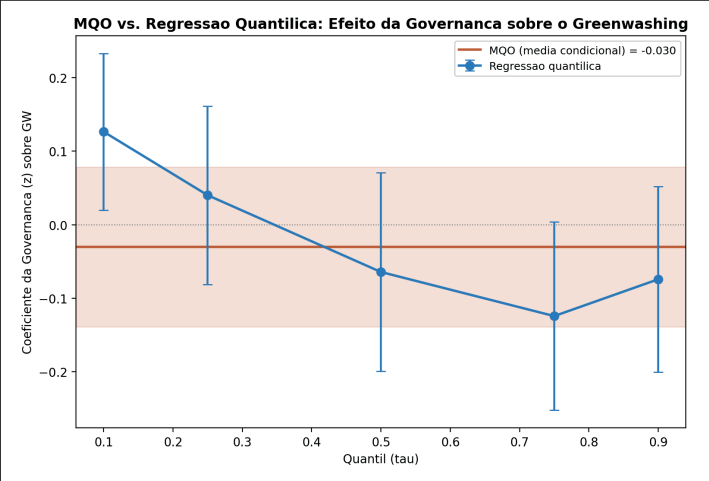
As estatísticas descritivas mostram que o greenwashing médio é próximo de zero por construção, em razão da padronização anual, com leve assimetria positiva. As firmas dos subgrupos de governança alta e baixa apresentam médias e medianas de greenwashing próximas. A correlação entre governança e greenwashing é pequena e negativa, e nenhuma correlação entre pares de variáveis contínuas ultrapassa 0,7 em valor absoluto.

Para caracterizar as extremidades da distribuição, a amostra foi dividida entre o decil inferior do greenwashing ($n = 97$) e o quartil superior ($n = 243$). Os grupos apresentam governança e tamanho médios semelhantes, mas diferem em composição setorial: 51,9% das firmas de maior greenwashing pertencem a setores de alta intensidade de carbono, contra 40,2% no grupo de menor greenwashing, além de maior presença de utilidades públicas no grupo superior.

MQO e regressão quantílica

O modelo de mínimos quadrados ordinários não detecta associação significativa entre governança e greenwashing (coeficiente = -0,0301; erro-padrão = 0,0556; $p > 0,10$). Na regressão quantílica, a governança é positiva no quantil 0,10 (coeficiente = 0,1265; $p < 0,05$) e negativa no quantil 0,75 (coeficiente = -0,1243; $p < 0,10$), com coeficientes não significativos nos quantis 0,25, 0,50 e 0,90. A incerteza de commodities e política climática não apresenta associação estatisticamente significativa com o greenwashing. A Figura 1 apresenta os coeficientes do modelo de média condicional e dos cinco quantis, com seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

Figura 1 - MQO versus regressão quantílica: efeito da governança sobre o greenwashing.



Linha/faixa: MQO e intervalo de confiança de 95%; pontos/barras: coeficientes quantílicos e intervalos de confiança de 95%.

Fonte: Elaboração dos autores.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de governança estimados pelo modelo de mínimos quadrados ordinários e pela regressão quantílica, com os respectivos erros-padrão e níveis de significância.

Tabela 3 - Modelo de governança sobre o greenwashing: MQO versus regressão quantílica.

Especificacao	tau / modelo	Governanca (z)	N
MQO (media condicional)	-	-0.0301 (0.0556)	970
Regressao quantilica	tau = 0.10	0.1265** (0.0544)	970
	tau = 0.25	0.0402 (0.0620)	970
	tau = 0.50	-0.0644 (0.0689)	970
	tau = 0.75	-0.1243* (0.0653)	970
	tau = 0.90	-0.0743 (0.0644)	970

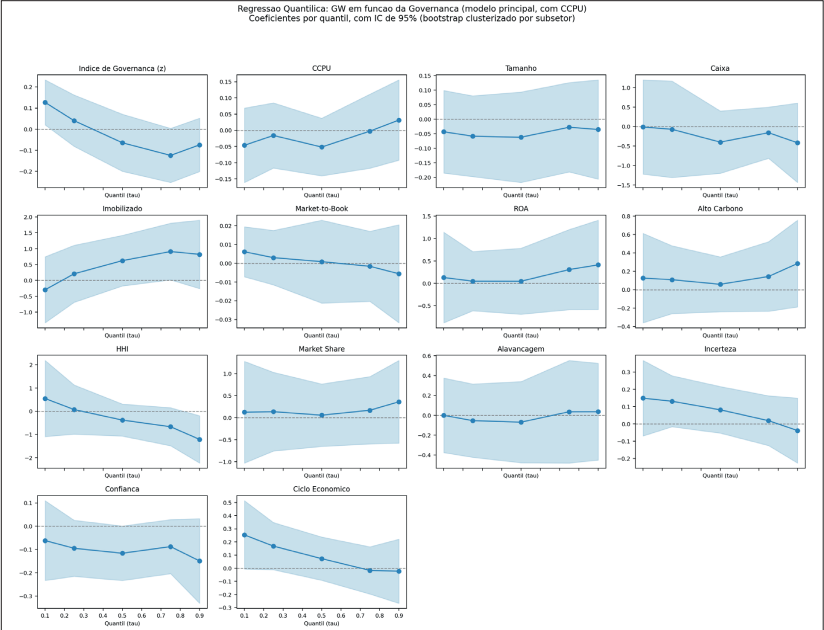
Erros-padrão bootstrap clusterizados por subsetor NAICS, 500 réplicas, para regressão quantílica; erro-padrão cluster-robusto para MQO. * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

Fonte: Dados da pesquisa.

O teste formal de igualdade entre os coeficientes dos quantis 0,10 e 0,75 (Koenker; Xiao, 2002) produz diferença de 0,251, erro-padrão bootstrap pareado de 0,192, $z = 1,31$ e $p = 0,191$. O teste conjunto de Wald para os cinco quantis resulta em $W = 1,93$, quatro graus de liberdade e $p = 0,749$. Em ambos os testes, a hipótese nula de igualdade dos coeficientes não é rejeitada aos níveis convencionais de significância.

Entre os controles, o imobilizado apresenta coeficiente positivo e significativo no quantil 0,75, enquanto o HHI é negativo e significativo no quantil 0,90. Os demais controles, incluindo a CCPU, apresentam significância apenas pontual ou não significativa ao longo dos quantis. Para complementar os resultados da variável de interesse, a Figura 2 apresenta os coeficientes estimados para todas as covariáveis nos cinco quantis, acompanhados de intervalos de confiança de 95%. Essa representação permite avaliar simultaneamente a direção, a magnitude e a precisão das associações. A Figura 3 oferece uma síntese complementar por meio de mapa de calor, facilitando a comparação do padrão dos coeficientes entre variáveis e quantis.

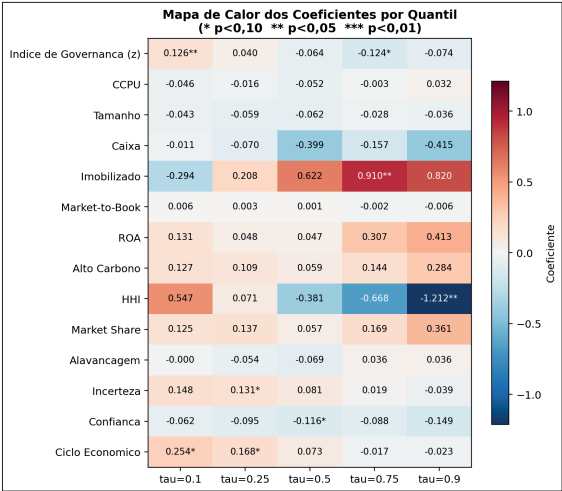
Figura 2 - Coeficientes da regressão quantílica com intervalos de confiança de 95%.



Pontos: coeficientes estimados nos quantis 0,10, 0,25, 0,50, 0,75 e 0,90; faixas: intervalos de confiança de 95%; linha horizontal: coeficiente igual a zero.

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 3 - Coeficientes da regressão quantílica ao longo da distribuição do greenwashing.



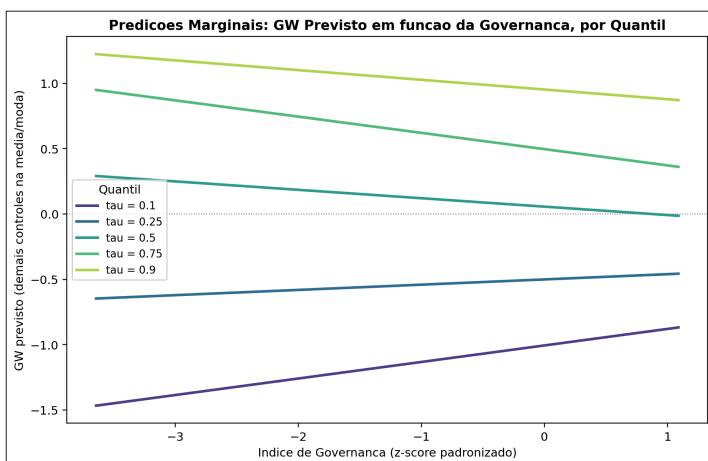
As células apresentam os coeficientes estimados nos quantis 0,10, 0,25, 0,50, 0,75 e 0,90; a escala visual representa sinal e magnitude. * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01.

Fonte: Elaboração dos autores.

Valores preditos de greenwashing por nível de governança

A Figura 4 traduz os coeficientes estimados em valores preditos de GW ao longo da distribuição da governança, mantendo as demais covariáveis na média, quando contínuas, ou na moda, quando binárias. A governança varia entre os percentis 2 e 98 da amostra e os valores são apresentados separadamente para cada quantil, permitindo visualizar a inclinação estimada sem tratá-la como efeito marginal no sentido estrito.

Figura 4 - Valores preditos de greenwashing em função da governança, por quantil.



As demais covariáveis são mantidas na média (contínuas) ou na moda (binárias); a governança varia entre os percentis 2 e 98.

Fonte: Elaboração dos autores.

Análises de robustez

Como primeira análise de robustez, a governança contínua foi substituída por uma variável dummy que classifica as firmas nos extremos do escore bruto: "governança alta" (contagem ≥ 7) e "governança baixa" (contagem ≤ 5), cobrindo a totalidade da amostra de estimação ($n = 490$ e $n = 480$, respectivamente; $N = 970$). A dummy de governança alta é negativa no quantil 0,75 (coeficiente = -0,3918; $p < 0,05$). No quantil 0,10, o coeficiente é positivo, porém não significativo (coeficiente = 0,2479; $p > 0,10$).

Como segunda análise de robustez, o greenwashing padronizado por ano foi substituído pela diferença bruta entre divulgação e desempenho ambiental, e o

modelo foi reestimado nos cinco quantis na amostra completa (N = 970). A governança apresenta coeficientes negativos e significativos nos quantis 0,25, 0,50 e 0,75; no quantil 0,10, o coeficiente não reproduz a significância observada na especificação principal.

Como terceira análise de robustez, estimou-se uma regressão quantílica incondicional pela função de influência recentrada (Firpo *et al.*, 2009). O coeficiente de governança é negativo no quantil 0,75 (coeficiente = -0,1508; $p < 0,05$). No quantil 0,10, o coeficiente é positivo, mas não significativo (coeficiente = 0,1016; $p = 0,137$).

Como quarta análise de robustez, removeu-se um efeito fixo aditivo por firma antes da regressão quantílica, seguindo o procedimento em dois passos de Canay (2011), com bootstrap em blocos por firma e 500 réplicas. Após o ajuste, os coeficientes de governança variam entre -0,0102 e 0,0057 e não são estatisticamente significativos nos cinco quantis ($p > 0,10$).

Como quinta análise de robustez, reestimou-se a regressão quantílica incluindo a interação entre governança e incerteza de commodities e política climática centralizada na média. O termo de interação não é estatisticamente significativo em nenhum dos cinco quantis: 0,10 (coeficiente = -0,0233; erro-padrão = 0,0666), 0,25 (-0,0177; 0,0662), 0,50 (0,0171; 0,0722), 0,75 (-0,0412; 0,0875) e 0,90 (-0,0413; 0,0874). Os coeficientes de governança são 0,1190 no quantil 0,10, -0,0628 no quantil 0,50 e -0,1277 no quantil 0,75.

A Tabela 4 sintetiza os resultados das cinco análises de robustez.

Tabela 4 - Síntese das análises de robustez.

Especificação	$\tau=0,10$	$\tau=0,50$	$\tau=0,75$	Síntese
GOV alta (dummy)	0,2479	-0,2046	-0,3918**	Sinal negativo em $\tau=0,75$
GW bruto	-1,7061	-3,3006**	-2,5713*	Negativo em quantis médio/superior
RIF incondicional	0,1016	-0,0404	-0,1508**	Reproduz sinal negativo superior
FE aditivo por firma	0,0057	-0,0102	-0,0088	Efeito atenuado e não significativo
GOV x CCPU_c	-0,0233	0,0171	-0,0412	Interação n.s.; GOV estável

** $p < 0,05$; * $p < 0,10$. A especificação com GOV x CCPU_c utiliza 300 réplicas de bootstrap clusterizado por sub-setor; os demais resultados seguem as rotinas de robustez descritas no texto. Na linha "GOV x CCPU_c" os valores correspondem ao coeficiente do termo de interação; os coeficientes do efeito principal de GOV nessa mesma especificação são 0,1190 ($\tau=0,10$), -0,0628 ($\tau=0,50$) e -0,1277 ($\tau=0,75$), conforme relatado no texto.

Fonte: Dados da pesquisa.

DISCUSSÃO

Governança e heterogeneidade distribucional

A combinação entre um coeficiente médio não significativo e associações de sinais opostos em pontos específicos da distribuição mostra por que o greenwashing pode ser inadequadamente descrito pela firma média. A associação negativa no quantil superior é compatível com a lógica disciplinadora da teoria da agência: quando o desalinhamento é maior, mecanismos de monitoramento podem encontrar maior espaço para restringir comunicação oportunista e aproximar narrativa e desempenho. Essa leitura dialoga com Husted e Sousa-Filho (2019) e com estudos que distinguem desempenho e divulgação ambiental (Clarkson *et al.*, 2008; Hummel; Schlick, 2016). Também é consistente com evidências recentes de que características do conselho podem reduzir greenwashing (Chen; Dagestani, 2023; Ma; Ahmad, 2024; Zahid *et al.*, 2025; Lee *et al.*, 2025), mas deve ser confrontada com resultados que mostram que estruturas formais de governança da sustentabilidade não são necessariamente suficientes para impedi-lo. Pratama *et al.* (2025) encontram limitações na efetividade desses mecanismos, enquanto Peng, Li e Li (2025) documentam associação positiva entre comitês ESG e greenwashing. Em sentido oposto, Permatasari *et al.* (2026) encontram que comitês de sustentabilidade reduzem greenwashing em empresas dos países ASEAN-5, reforçando a interpretação de que a efetividade da governança depende de desenho institucional e contexto.

A evidência, contudo, não autoriza uma conclusão forte de heterogeneidade causal. O teste de igualdade entre os coeficientes dos quantis 0,10 e 0,75 apresenta $p = 0,191$ e o teste conjunto entre os cinco quantis apresenta $p = 0,749$. Além disso, a especificação com efeito fixo aditivo por firma torna os coeficientes pequenos e não significativos. Assim, H1 não é formalmente confirmada, embora o padrão dos coeficientes seja direcionalmente consistente com a expectativa teórica. As diferenças de sinal e significância individual devem, portanto, ser tratadas como evidência sugestiva, e não como demonstração de reversão estatisticamente confirmada. A especificação adicional com $GOV \times CCPU_c$ reforça essa cautela: o termo de interação não é significativo em nenhum quantil, mas os coeficientes de governança se mantêm muito próximos aos da especificação principal. A incerteza climática, portanto, não aparece como moderadora do

efeito de governança nesta amostra, ao mesmo tempo em que sua inclusão não altera materialmente o padrão distribucional central. O mapa de calor da Figura 3 complementa essa leitura ao mostrar que a heterogeneidade visual também aparece em controles específicos, sobretudo no imobilizado e no HHI, sem alterar a cautela exigida pelos testes formais de igualdade entre quantis.

Sustentabilidade em setores produtivos e intensivos em carbono

A caracterização das caudas aproxima os resultados da realidade dos espaços produtivos. A participação de firmas de setores de alta intensidade de carbono aumenta de 40,2% no grupo de menor greenwashing para 51,9% no grupo de maior greenwashing, com presença também mais elevada de utilidades públicas. Esses setores operam sob maior visibilidade regulatória e social, o que aumenta a pressão por sinalizar legitimidade ambiental (Suchman, 1995), ao mesmo tempo em que a redução efetiva de impactos pode depender de alterações em ativos, tecnologias e processos produtivos. Evidência recente para um mercado emergente mostra ainda que a sensibilidade ambiental do setor pode moderar parcialmente a relação entre mecanismos de governança e greenwashing (Lee *et al.*, 2025), enquanto Peng, Li e Li (2025) encontram associação mais pronunciada entre comitês ESG e greenwashing no setor manufatureiro.

Essa assimetria entre a velocidade da comunicação e a velocidade da transformação operacional oferece uma interpretação econômica coerente para o risco de greenwashing. A divulgação pode responder rapidamente a pressões de investidores, consumidores e reguladores, enquanto mudanças em infraestrutura, equipamentos e tecnologias demandam capital e tempo. O coeficiente positivo do imobilizado no quantil 0,75 é compatível com essa possibilidade: firmas mais dependentes de ativos físicos podem enfrentar maior rigidez para alterar rapidamente seu desempenho ambiental. O resultado não demonstra esse mecanismo, mas indica uma agenda de investigação particularmente pertinente a setores industriais e de infraestrutura.

No Brasil, a evolução das regras de divulgação de informações financeiras relacionadas à sustentabilidade amplia a importância de conectar reporte e transformação produtiva. A comparabilidade de métricas ESG é necessária, mas não suficiente: conselhos, comitês de sustentabilidade, auditoria e controles

internos permanecem relevantes para assegurar que compromissos comunicados estejam vinculados a decisões de investimento, operação e mitigação ambiental (Comissão de Valores Mobiliários, 2023, 2026).

Implicações para governança da informação de sustentabilidade

Os resultados reforçam que a qualidade da informação ESG não deve ser inferida apenas pelo volume de disclosure. Quando o greenwashing é mensurado como distância entre divulgação e desempenho, a análise se desloca da existência formal de relatórios para sua consistência substantiva. Nesse sentido, a governança corporativa pode ser compreendida como parte da infraestrutura organizacional que conecta metas ambientais, decisões produtivas e prestação de contas.

Para reguladores e participantes do mercado, a ausência de efeito médio significativo também recomenda cautela com políticas calibradas para a firma representativa. Setores com diferentes intensidades de carbono, estruturas de ativos e graus de competição podem enfrentar custos e incentivos distintos para transformar desempenho ambiental. A perspectiva distribucional permite identificar essas condições de contorno, desde que acompanhada de testes formais e estratégias capazes de separar diferenças persistentes entre firmas de mudanças efetivamente ocorridas dentro delas.

Limitações e agenda de pesquisa

O estudo possui quatro limitações principais. A disponibilidade simultânea de divulgação ESG e desempenho ambiental reduz o painel inicial de 360 para 105 firmas e limita o poder dos testes de heterogeneidade, provavelmente selecionando firmas maiores e mais monitoradas pelo mercado de capitais, o que pode restringir a generalização dos resultados para o conjunto mais amplo de firmas brasileiras listadas; a medida de greenwashing combina escores de provedores distintos, embora padronizados por ano; a governança é sintetizada em um índice aditivo que pode ocultar efeitos específicos dos atributos do conselho; e o desenho observacional não identifica causalidade. Pesquisas futuras podem explorar mudanças regulatórias, medidas alternativas de disclosure e

performance, componentes individuais da governança e interações com intensidade de carbono, estrutura de ativos e competição setorial.

CONCLUSÃO

Este estudo examinou se a associação entre governança corporativa e greenwashing é homogênea ao longo da distribuição do desalinhamento entre divulgação de sustentabilidade e desempenho ambiental em empresas brasileiras listadas. O modelo de mínimos quadrados ordinários não identificou efeito médio significativo, enquanto a regressão quantílica apresentou associação positiva no quantil 0,10 e negativa no quantil 0,75. Três análises de robustez reproduziram o sinal negativo na região superior, mas testes formais não confirmaram diferença entre os coeficientes e o efeito fixo aditivo por firma atenuou o padrão. A maior presença de setores intensivos em carbono entre firmas de alto greenwashing reforça a relevância do fenômeno para contextos produtivos nos quais a transformação ambiental pode ser mais lenta e custosa do que a comunicação. Os resultados permanecem associativos, mas indicam que avaliar conjuntamente governança, divulgação e desempenho ambiental pode ampliar a compreensão da sustentabilidade empresarial. Para a engenharia e a gestão de ativos em setores intensivos em carbono, esse padrão reforça que decisões de investimento em infraestrutura, equipamentos e processos produtivos são parte central da resposta ao risco de greenwashing, e não apenas um tema de comunicação corporativa.

REFERÊNCIAS

- ARELLANO, M.; BONHOMME, S. Nonlinear panel data estimation via quantile regressions. **The Econometrics Journal**, v. 19, n. 3, p. C61-C94, 2016. DOI: 10.1111/ectj.12062.
- BAKER, S. R.; BLOOM, N.; DAVIS, S. J. Measuring economic policy uncertainty. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 131, n. 4, p. 1593-1636, 2016. DOI: 10.1093/qje/qjw024.
- CAMERON, A. C.; MILLER, D. L. A practitioner's guide to cluster-robust inference. **Journal of Human Resources**, v. 50, n. 2, p. 317-372, 2015. DOI: 10.3368/jhr.50.2.317.
- CANAY, I. A. A simple approach to quantile regression for panel data. **The Econometrics Journal**, v. 14, n. 3, p. 368-386, 2011. DOI: 10.1111/j.1368-423X.2011.00349.x.

CHEN, P.; DAGESTANI, A. A. Greenwashing behavior and firm value – from the perspective of board characteristics. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 30, n. 5, p. 2330-2343, 2023. DOI: 10.1002/csr.2488.

CLARKSON, P. M.; LI, Y.; RICHARDSON, G. D.; VASVARI, F. P. Revisiting the relation between environmental performance and environmental disclosure: an empirical analysis. **Accounting, Organizations and Society**, v. 33, n. 4-5, p. 303-327, 2008. DOI: 10.1016/j.aos.2007.05.003.

COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. **Resolução CVM nº 193, de 20 de outubro de 2023**. Dispõe sobre a elaboração e divulgação do relatório de informações financeiras relacionadas à sustentabilidade, com base no padrão internacional emitido pelo International Sustainability Standards Board – ISSB. Rio de Janeiro: CVM, 2023. Disponível em: Resolução CVM nº 193. Acesso em: 24 ago. 2026.

COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. **Resolução CVM nº 244, de 29 de maio de 2026**. Altera a Resolução CVM nº 193, de 20 de outubro de 2023. Rio de Janeiro: CVM, 2026. Disponível em: Resolução CVM nº 244. Acesso em: 24 ago. 2026.

CONNELLY, B. L.; CERTO, S. T.; IRELAND, R. D.; REUTZEL, C. R. Signaling theory: a review and assessment. **Journal of Management**, v. 37, n. 1, p. 39-67, 2011. DOI: 10.1177/0149206310388419.

DELMAS, M. A.; BURBANO, V. C. The drivers of greenwashing. **California Management Review**, v. 54, n. 1, p. 64-87, 2011. DOI: 10.1525/cmr.2011.54.1.64.

EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **The Annals of Statistics**, v. 7, n. 1, p. 1-26, 1979. DOI: 10.1214/aos/1176344552.

FIRPO, S.; FORTIN, N. M.; LEMIEUX, T. Unconditional quantile regressions. **Econometrica**, v. 77, n. 3, p. 953-973, 2009. DOI: 10.3982/ECTA6822.

GAVRIILIDIS, K. Measuring climate policy uncertainty. **SSRN Electronic Journal**, 2021. DOI: 10.2139/ssrn.3847388.

HUMMEL, K.; SCHLICK, C. The relationship between sustainability performance and sustainability disclosure: reconciling voluntary disclosure theory and legitimacy theory. **Journal of Accounting and Public Policy**, v. 35, n. 5, p. 455-476, 2016. DOI: 10.1016/j.jaccpubpol.2016.06.001.

HUSTED, B. W.; SOUSA-FILHO, J. M. de. Board structure and environmental, social, and governance disclosure in Latin America. **Journal of Business Research**, v. 102, p. 220-227, 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2018.01.017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GOVERNANÇA CORPORATIVA. **Código das melhores práticas de governança corporativa**. 6. ed. São Paulo: IBGC, 2023.

JENSEN, M. C.; MECKLING, W. H. Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure. **Journal of Financial Economics**, v. 3, n. 4, p. 305-360, 1976. DOI: 10.1016/0304-405X(76)90026-X.

KOENKER, R. **Quantile regression**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. (Econometric Society Monographs, 38).

KOENKER, R.; BASSETT, G. Regression quantiles. **Econometrica**, v. 46, n. 1, p. 33-50, 1978. DOI: 10.2307/1913643.

KOENKER, R.; XIAO, Z. Inference on the quantile regression process. **Econometrica**, v. 70, n. 4, p. 1583-1612, 2002. DOI: 10.1111/1468-0262.00342.

LEE, S. P.; ISA, M.; SHAIBAN, M. S. Corporate governance and greenwashing: the moderating role of political connection and sensitive industries. **SAGE Open**, v. 15, n. 3, p. 1-15, 2025. DOI: 10.1177/21582440251369200.

MA, Y.; AHMAD, M. I. Do board characteristics impact greenwashing? Moderating role of CSR committee. **Heliyon**, v. 10, n. 20, e38743, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e38743.

MARQUIS, C.; TOFFEL, M. W.; ZHOU, Y. Scrutiny, norms, and selective disclosure: a global study of greenwashing. **Organization Science**, v. 27, n. 2, p. 483-504, 2016. DOI: 10.1287/orsc.2015.1039.

MUHAMMAD, H.; TADELE, H. Corporate governance and ESG controversies: a quantile regression approach. **Corporate Governance**, v. 26, n. 3, p. 596-615, 2026. DOI: 10.1108/CG-11-2024-0616.

PENG, L.; LI, X.; LI, W. Green in name only? The role of ESG committees in corporate greenwashing. **Applied Economics Letters**, publicação antecipada on-line, 2025. DOI: 10.1080/13504851.2025.2609815.

PERMATASARI, Y.; ROSYIDAH, M. A.; SABARUDDIN, L. O.; EMBUNINGTIYAS, S. S.; YUNIAWATI, R. A. Sustainability governance and greenwashing: the role of sustainability committees in ASEAN-5 countries. **Asian Review of Accounting**, v. 34, n. 3, p. 575-600, 2026. DOI: 10.1108/ARA-03-2025-0067.

POWELL, D. Quantile regression with nonadditive fixed effects. **Empirical Economics**, v. 63, p. 2675-2691, 2022. DOI: 10.1007/s00181-022-02216-6.

PRATAMA, A.; YUSOFF, H.; YADIATI, W.; JAENUDIN, E. Sustainability-related corporate governance and greenwashing practices: preliminary evidence from Southeast Asian companies. **Meditari Accountancy Research**, v. 33, n. 3, p. 853-885, 2025. DOI: 10.1108/MEDAR-07-2024-2579.

SUCHMAN, M. C. Managing legitimacy: strategic and institutional approaches. **Academy of Management Review**, v. 20, n. 3, p. 571-610, 1995. DOI: 10.2307/258788.

TENG, X.; WANG, Y.; WANG, A.; CHANG, B.-G.; WU, K.-S. Environmental, social, governance risk and corporate sustainable growth nexus: quantile regression approach. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 20, art. 10865, 2021. DOI: 10.3390/ijerph182010865.

VEERAVEL, V.; SADHARMA, E. K. S.; KAMAIAH, B. Do ESG disclosures lead to superior firm performance? A method of moments panel quantile regression approach. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 31, n. 1, p. 741-754, 2024. DOI: 10.1002/csr.2598.

ZAHID, R. M. A.; MAQSOOD, U. S.; IRSHAD, S.; KHAN, M. K. The role of women on board in combatting greenwashing: a new perspective on environmental performance. **Business Ethics, the Environment & Responsibility**, v. 34, n. 1, p. 121-136, 2025. DOI: 10.1111/beer.12607.

**ANÁLISE DA ARTICULAÇÃO DOS
STAKEHOLDERS, SOB O FOCO DA ESG E
SUSTENTABILIDADE, NO ROMPIMENTO
DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM
MARIANA - MG**

Elisângela Fátima de Oliveira

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

RESUMO

Sabe-se que o ambiente envolto a um desastre súbito abrange uma gama de fatores que vão além das técnicas de análise e resposta abordadas nos mais diversos estudos da área. Neste contexto, as relações entre as diferentes partes interessadas (*Stakeholders*) podem melhorar a qualidade e a resposta do atendimento prestado às vítimas desde os estágios iniciais que sucedem ao desastre até a completa recuperação e reconstrução, sob uma ótica sustentável. Diante deste desafio, diferentes estratégias e instrumentos são empregados a fim de permitir o nivelamento de interesses e de expectativas entre as partes interessadas. Para elucidar quais instrumentos fizeram parte da governança do caso do rompimento da Barragem de Fundão, o estudo propôs identificar e mapear as principais partes interessadas envolvidas durante a fase de recuperação; analisar os instrumentos e mecanismos presentes na fase de recuperação como forma de identificar as relações entre os atores envolvidos, com o intuito de caracterizar as estruturas de governança propostas pelos acordos como forma de coordenar a rede de atores, modelos, instrumentos e arranjos no horizonte de três anos após o desastre até o ano de 2024. O estudo considerou os diversos acordos celebrados como forma de demonstrar o dinamismo e a complexidade da gestão dos *Stakeholders* no caso do desastre ocorrido em Mariana/MG.

Palavras-chave: teoria dos *stakeholders*; gestão de desastres; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O estudo se baseia no acidente ocorrido no subdistrito de Bento Rodrigues, pertencente ao município de Mariana/MG em novembro de 2015 com o rompimento da barragem de Fundão. Busca-se analisar a dinâmica da articulação dos *Stakeholders* durante a fase de recuperação deste desastre a partir da Teoria dos *Stakeholders*. O objetivo é evidenciar as relações de interação e a possível integração dos atores segundo os pressupostos da literatura. Como premissa, este trabalho visa analisar a articulação dos *Stakeholders* em um horizonte de tempo determinado após a ocorrência de um desastre súbito por meio de um estudo de caso único. Este enfoque busca contrastar as vulnerabilidades das relações entre os atores envolvidos neste contexto específico sendo um dos maiores desastres ambientais do nosso país em termos de complexidade e proporção dos danos, com reflexos significativos socioeconômicos. Através de uma abordagem centrada na Teoria dos *Stakeholders*, propôs-se analisar as relações e interações. Entre os *Stakeholders* na fase de recuperação do desastre de Mariana/MG. Para tal, foram consideradas as seguintes premissas: a) O ambiente pós-desastre está em mudança constante posto que o inter-relacionamento dos atores envolvidos provoca efeitos e reflexos na rede de *Stakeholders*; b) As partes interessadas estão dispostas em uma estrutura de rede integradas com variáveis inter-dependentes; c) As inter-relações presentes entre a rede de *Stakeholders* deve considerar os valores, necessidades e desejos dos envolvidos; d) A articulação entre os *Stakeholders* é um processo de construção, ou seja, ocorre de forma dinâmica e e) As relações entre os *Stakeholders* podem ser caracterizadas a partir dos três atributos propostos por Mitchell *et al.* (1997): Poder, Urgência e Legitimidade. Dessa forma, o estudo propôs identificar e mapear as principais partes interessadas envolvidas no desastre ocorrido com a Barragem de Fundão, durante a fase de recuperação; analisar os instrumentos e mecanismos presentes na fase de recuperação como forma de identificar as relações entre os atores envolvidos, bem como a interdependência e a integração destes; caracterizar a estrutura de governança proposta pelos acordos como forma de coordenar a rede de atores, modelos, instrumentos e arranjos derivados dessas relações entre as partes interessadas. A análise parte das ações de reconstrução das localidades atingidas e/ou

afetadas pelos impactos desse desastre ambiental em um contexto que envolve diversos *Stakeholders*, representados pela iniciativa privada, comunidades locais, Poder Público nas mais diversas esferas, organizações não governamentais, os atingidos ou impactados como principais grupos de interesse, dentre outros. Aborda-se o desdobramento pautado pelos acordos de ordem jurídica. Para pautar as interações entre estes envolvidos e nortear a etapa de recuperação foram estabelecidos acordos extrajudiciais entre as partes através inicialmente do Termo de Transição e Ajustamento de Conduta (TTAC) e, posteriormente, pelo Termo de Ajuste de Conduta (TAC) como nova “estrutura de governança”). Ambos consistem em um arranjo institucional negociado que buscava criar regras de interação entre os órgãos públicos (executivo e judiciário), empresas e comunidades atingidas. Nesse cenário, nota-se que potenciais conflitos entre os atores e as ações ancoradas no trâmite jurídico criaram um ambiente de incerteza nos três anos após a ocorrência do desastre. A fim de elucidar essas questões, o estudo propõe explicitar as relações entre as partes interessadas a partir da Teoria de Gestão de *Stakeholders*.

Mapeamento e modelagem dos *Stakeholders*

Para Araujo e Magdaleno (2015), a representação dos responsáveis pela execução dos processos é relevante, principalmente no caso daqueles intensamente colaborativos, como os de operações humanitárias e de desastres. Tomasini e Van Wassenhove (2009) também ressaltam ainda que a observação das operações através da abordagem por processos realizados pelos *Stakeholders* em operações de desastres é uma importante ferramenta na construção de uma visão compartilhada por todos os envolvidos e na obtenção de operações mais eficazes e eficientes. Leiras *et al.* (2017) complementam que, a partir dos modelos de *Stakeholders*, as organizações conseguem identificar e atribuir, de forma mais fácil, os responsáveis de cada processo. Cozzolino (2012) Fontainha *et. al* (2015) corroboram com esses autores ao elucidar através de um modelo conceitual a rede de *Stakeholders* mapeados. Neste, a partir do detalhamento dos *Stakeholders*, observa-se que o envolvimento da maioria destes se dá principalmente para o atendimento das necessidades dos beneficiários. Observa-se ainda, uma afinidade que permite a categorização deles em três grupos, a saber: Sociedade

composta pela Rede de ajuda local, Doador, e Rede de ajuda internacional; Poder Público composto pelas esferas Militar, Governo, e Agência reguladora e, por fim, o Privado composto por Setor privado, Operador logístico, e Mídia. Bredariol (2001) afirma que modelos dinâmicos requerem tempo e conhecimento técnico para serem construídos e englobam a participação dos atores sociais afetados como premissa. Taylor (2000) apresenta modelos dinâmicos do tipo presa-predador e também de múltiplos atores múltiplos atores buscando subsidiar a análise política dos conflitos envolvendo populações negras, hispânicas e nativas, corporações, agências reguladoras e comunidades. Os modelos se destinam à compreensão das relações de poder em que estão envolvidos. A partir de uma sequência lógica de ações, envolvendo as etapas de mapear e listar os atores, marcar as relações entre eles com setas e variar a espessura dessas setas para destacar a intensidade das relações, o autor modela quadros ou esquemas de atores e relações. Assim, tais modelos os modelos poderiam ser obtidos pela conforme as representações abaixo: - Modelo A que corresponderia ao tipo presa/predador, algoz/vítima ou poluidor/população impactada; - Modelo B, envolveria uma coalizão entre decisores da política, empreendedores e reguladores para chegar a, - Modelo C envolveria um conjunto maior de grupos e instituições, cujas ligações não seriam de simples dominação, mas conforme as possibilidades de negociações, de compromissos e de alianças, de acordo com as diferentes intensidades dos elos que interligam esses diferentes atores. Deste modo, Taylor (2000) representa as interações entre os atores com o objetivo de compreender as relações de poder entre estes. Para Bredariol (2001), modelos deste tipo são úteis para a análise de relações de poder uma vez que se constituem uma ferramenta para ajudar na compreensão do problema ou conflito que se quer resolver, criar ou gerir. Permitiria assim subsidiar a análise política dos conflitos envolvendo os diferentes atores como populações, corporações, agências reguladoras e outras comunidades. Como apresentado no modelo de Taylor (2000), as relações entre atores são pautadas em estratégias e táticas de conflito ou cooperação, através da construção de alianças e coalizões com atores que possuem interesses comuns ou próximos. A partir da adaptação de um modelo dinâmico para a logística humanitária englobando diversos atores contextualizados em diferentes fases do ciclo de um desastre, pode-se caracterizar as mudanças constantes nas relações entre os mesmos no contexto

temporal da fase de recuperação. Além disso, dada a característica de adaptabilidade, infere-se que tal modelo possua aplicação para diversas fases de um desastre, permitindo revisar a participação dos *Stakeholders* e os mecanismos de coordenação da cadeia através do estudo das interações presentes entre os diversos atores envolvidos. As possíveis fontes de conflitos são mapeadas e visualizadas no modelo, bem como a potencial sinergia entre os envolvidos pela presença de coalizões e tendem a promover uma gestão mais eficiente dos atores envolvidos e, conseqüentemente, aumentar a eficiência das ações de cada fase de cada ciclo. Isto é coerente uma vez que segundo Leiras *et al.* (2017), o gerenciamento de cadeias humanitárias se dá pelos mecanismos de colaboração entre os atores e pela promoção da coordenação consensual de seus processos.

Ainda segundo Bredariol, (2001), durante as fases de resposta e reconstrução, espera-se como resultados das interações entre os *Stakeholders* um modelo dinâmico de relações entre os atores uma vez que, o desafio é responder, antecipadamente, a melhor forma de intervir em um dado sistema de modo a estabelecer, manter ou restabelecer o equilíbrio em uma dada região, ou visualizar e definir políticas para tal.

Nesse aspecto, Mitchell *et al.* (1997) propuseram um modelo, intitulado Modelo de Saliência, para identificar quem eram os *Stakeholders* e explicar porque os gestores consideram certos grupos como sendo *Stakeholders* e como priorizam certos relacionamentos com base na relevância. Esse modelo está estruturado para permitir identificar o grau em que os gestores dão prioridade às reivindicações concorrentes das partes interessadas. Este modelo caracteriza as partes interessadas em grupos segundo a posse de três atributos: poder do *Stakeholder* para influenciar a empresa/demais organizações, legitimidade do seu relacionamento com a empresa/organizações e urgência de sua reivindicação para com a empresa ou organização.

A identificação da existência de cada atributo é algo subjetivo e ocorre por meio de percepções daquele contexto socialmente construído. Dessa forma, os atributos não são binários, isto é, sua intensidade oscila em um *continuum*; no entanto, para as análises que se seguem, os atributos foram apenas avaliados se presentes ou ausentes. Quando combinados, tais atributos levam a sete tipos de

Stakeholders de acordo com sua relevância. Neste trabalho, o modelo proposto por Mitchell *et al.* será empregado na análise para priorizar os *Stakeholders* na fase de recuperação do desastre do rompimento da barragem de Fundão. Assim, cada um dos três atributos deste Modelo de Saliência será considerado diante da dinâmica de governança entre os *Stakeholders* envolvidos para o reestabelecimento das áreas bem como das pessoas atingidas. Portanto, nesse contexto, a análise se baseará nos atributos do modelo proposto por Mitchell *et al.* (1997) nas seguintes dimensões: Poder do *Stakeholder* para influenciar os demais *Stakeholders*, Legitimidade do seu relacionamento com os demais *Stakeholders* e Urgência de sua reivindicação para com os responsáveis pelas ações de reparação e recuperação.

Formas de articulação entre as partes interessadas na gestão de conflitos

Os conceitos de coordenação, colaboração, alianças ou integração são frequentemente usados para se qualificar as parcerias inter- organizacionais. No cenário humanitário, a coordenação destaca-se ao considerarmos que no contexto de um desastre existe o foco em um planejamento conjunto, via a capacidade de análise ou identificação conjunta de problemas críticos na cadeia. Balcik *et al.* (2010) sugere que as organizações humanitárias podem se coordenar em termos de priorização de público alvo, divisão regional de tarefas ou atuação conjunta em teses. Isto se justifica uma vez que o objetivo dos esforços de coordenação no contexto humanitário são fechar lacunas, evitar esforços duplicados e realizar o uso eficiente de recursos disponíveis para melhorar o desempenho da cadeia (MOSHTARI, 2012). Contudo, segundo Dolinskaya *et al.* (2011), a coordenação entre as organizações não é fácil de estabelecer em um curto período de tempo, considerando que estes relacionamentos não foram estabelecidos antes do desastre. Segundo Ribeiro (2016) diante da ocorrência de desastres, as relações entre organizações e seus *Stakeholders* podem mudar. É natural que novos *Stakeholders* surjam e a relação de poder, legitimidade e urgência de cada um pode ser alterada.

Concatenar todos esses interesses e expectativas é uma tarefa complexa e exige uma eficiente gestão dos envolvidos. Nesse cenário, a gestão de conflitos se

revela como um tema de vasta extensão e campo de estudo. Segundo Bredariol (2001), o desenvolvimento das pessoas, grupos e da sociedade como um todo está diretamente relacionado à capacidade de criar e resolver conflitos, que estão presentes em todas as relações humanas. Através desta, busca-se com a elaboração de instrumentos de intervenção sobre a relação dos atores sociais entre si e com a natureza alcançar uma inserção dinâmica na construção da realidade social e da própria natureza. Ainda conforme este autor, não existem técnicas que transformem conflitos em expressões exatas e retornem soluções, nem há nada definitivo sobre formas de atuação, mas é possível reconhecer práticas de negociação dos conflitos e analisar o impacto delas em cada situação específica. Essas práticas ou técnicas se subdividem em dois grupos: os métodos comportamentais, que se originam nas teorias de comunicação entre grupos; e os métodos baseados nas teorias de decisão, denominados métodos de estruturação de problemas.

O primeiro grupo, relativo aos métodos das teorias de comunicação, envolvem a participação de um mediador, que tenha a postura neutra e imparcial nas discussões. Em contrapartida, os métodos que se apoiam na tomada de decisão contribuem para a resolução de conflitos através do desenvolvimento de modelos e analogias, do cálculo e da previsão de possíveis consequências para diferentes alternativas de ação e, por experimentação e simulação, consigam assistir à definição de etapas para se alcançar objetivo desejado. A literatura aponta que, os principais tipos de resolução alternativa de disputas consistem nos processos de negociação; mediação, adjudicação, arbitragem, mini-júri e júri sumário.

Vivacqua (2005) aborda os mecanismos de gestão de conflitos ambientais e os subdivide em dois grupos: os judiciais e os extrajudiciais. O primeiro tipo é aquele que pode ser solucionado via o acionamento do Poder Judiciário, por meio da utilização de mecanismos legais que permitem a participação da sociedade. No segundo são utilizadas técnicas de negociação, em que a resolução do conflito ocorre por meio de acordo entre as partes. Dessa forma, fica fácil discernir a diferença entre os métodos denominados alternativos (definidos em oposição a todo método de resolução dependente da jurisdição estatal), e elencados como: (1) negociação: acordo encontrado pelas próprias partes; (2)

mediação: negociação facilitada por um terceiro; e (3) arbitragem: substituição da vontade das partes por um terceiro.

METODOLOGIA

Em atenção aos propósitos deste estudo, a pesquisa realizada neste trabalho será de natureza qualitativa, através do emprego da técnica de análise de narrativas e baseada em um estudo de caso único. A escolha pela utilização do método do Estudo de Caso baseou-se nas três condições apontadas por Yin (2010, p. 28) :O tipo de questão de pesquisa proposto.: Como se estabeleceu a dinâmica das relações entre *Stakeholders* durante a fase de recuperação com base no caso do Rompimento da Barragem de Fundão? A temporalidade do acontecimento: enfoca um evento contemporâneo.

A extensão do controle sobre os eventos comportamentais reais: Não se exige controle dos eventos comportamentais. A utilização de um único caso é apropriada em algumas circunstâncias, conforme apontado por Denzin e Lincoln (2001): a) Quando se utiliza o caso para se determinar se as proposições de uma teoria estão corretas; quando o caso sob estudo é raro ou extremo, ou seja, não existem muitas situações semelhantes para que sejam feitos estudos comparativos; b) Quando o caso é revelador, ou seja, quando o mesmo permite o acesso a informações não facilmente disponíveis. Nesse sentido, foi empregado nesta pesquisa um estudo de caso único combinado com análise de narrativas, nas quais os dados são coletados a partir de múltiplas fontes baseadas em relatos, documentos ou observações. Na fase de coleta de dados a proposta foi realizar uma imersão foi possível entrar em contato com os atingidos que agora fazem parte da comunidade local de Mariana/MG, poder público, empresas privadas e movimentos sociais. Informações de jornais online e impressos, além de conteúdo coletado durante a participação em eventos na forma de manuscritos, áudio e vídeo também foram utilizados como dados secundários. Como parte destas informações, cabe ressaltar que para o desenvolvimento desta pesquisa foram inicialmente analisados textos acadêmicos e publicações reconhecidas, em que é descrito o ambiente operacional e decisório em desastres ocorridos; adotando-se fontes de evidências documentais, como: artigos científicos, dossiês, livros, artigos, jornais, internet, fóruns, entre outras fontes e englobando

também a pesquisa em imagens, áudio e vídeos. A partir dessa ampliação das fontes de dados que visam corroborar o mesmo fenômeno, tem-se a chamada triangulação de dados. Neste processo de triangulação, o desenvolvimento de linhas de investigação convergentes reforça os achados e as conclusões de um estudo de caso (Yin, 2010, p. 143-144). A coleta de dados ocorre majoritariamente durante a etapa da pesquisa de campo.

Nessa perspectiva, houve a realização de coleta de dados via o emprego de questionários estruturados para *Stakeholders* mais significativos conforme apontado pela literatura no contexto da gestão de desastres. Como premissa para a seleção dos participantes selecionados para entrevista, estipulou-se que a seleção de *Stakeholders* seria com base na frequência de citações pelos diversos jornais impressos e na versão online. A busca nesses veículos se deu com o auxílio de uma plataforma de pesquisa com acesso diário a todas as notícias divulgadas nas versões on-line e impressas desses jornais a nível nacional e uso das palavras chave: tragédia Mariana, rompimento Barragem de Fundão, Desastre Samarco, Samarco Mineração e Bento Rodrigues.

De um total de cento e oitenta e quatro notícias mapeadas por este método, foram selecionadas setenta e sete matérias de distintos jornais em forma impresso e online durante a fase de coleta documental. Admitiu-se redundância de matérias publicadas em diferentes veículos para propiciar imparcialidade na interpretação das informações. O software Atlas TI foi utilizado como ferramenta de apoio nas análises documentais, através do recurso de codificação para isolar os trechos contidos em cada documento para correlacionar as relações entre os mesmos. Um conjunto estruturado de questões abertas foi elaborado com base no protocolo de pesquisa e direcionado aos grupos de entrevistados. A coleta de dados e o registro de variáveis presumivelmente relevantes ocorrem nesta etapa e servem de insumo para a análise, em um processo iterativo e concomitante.

A pesquisa de campo foi realizada ao longo dos meses de agosto a novembro de 2018, com o propósito de estar inserido no contexto onde o fenômeno ocorreu. Ainda deve-se ressaltar que diversos desdobramentos desse desastre ainda perduram até a conclusão dos estudos propostos neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rompimento da barragem de Fundão, foco deste estudo, ocorreu na tarde de 05 de novembro de 2015 é considerado o maior desastre ambiental nacional. A barragem, pertencente à empresa Samarco Mineração S. A. integra o complexo da Mina de Germano e está situada no município de Mariana/MG. Considerando os atores envolvidos na fase de reconstrução, identifica-se um arranjo na rede de *Stakeholders* com a presença das dimensões Pública, Privada e Sociedade conforme apontado por Cozzolino (2012) e Fontainha *et al.* (2014) no Modelo conceitual de integração dos *Stakeholders* em operações humanitárias. Destaca-se, nesse contexto, a participação dos *Stakeholders* Ministério Público no âmbito Estadual e Federal e das Defensorias Públicas como representantes do Governo na dimensão Pública. As empresas Vale S.A., Samarco Mineração S. A. e BHP Billiton configuram o eixo de participação na dimensão Privada. Por último, a dimensão Sociedade pode ser verificada diante da participação da sociedade local, mídia e organizações em prol dos direitos humanos, como MAB (Movimento dos Atingidos por Barragens) entre outros. Cabe aqui destacar o papel da mídia em dar visibilidade aos atingidos e contribuições na coordenação entre *Stakeholders* na medida em que evidencia e critica posições unilaterais na tomada de decisão entre os atores envolvidos sem ou com pouca participação dos atingidos, conforme já abordado anteriormente.

Algumas características cruciais para o entendimento do nível de relacionamento foram observadas a partir da coleta de dados e estão reportados nos sub-tópicos abaixo como caracterização das relações entre pares de *Stakeholders*. Observa-se que com o passar do tempo, apontado por Vivacque (2005), as formas de interação entre os atores foram se consolidando e as relações entre os envolvidos a cada desdobramento das negociações judiciais e extrajudiciais, se tornava mais complexa em função da existência de diversas fontes de conflitos entre os envolvidos. Durante a evolução dos estágios durante a reconstrução são, por exemplo, definidas políticas públicas e de planejamento englobando o poder público e demais *Stakeholders* envolvidos no desastre. O documento intitulado Termo de Transição e Ajustamento de Conduta (TTAC) foi celebrado com vistas a promover algumas mudanças na estrutura e forma de atuação da Fundação Renova, tendo como objetivo a criação de mecanismos que permitissem

a efetiva participação dos atingidos e atingidas nos processos de tomada de decisão sobre a reparação dos danos causados em virtude do desastre. Porém, em 2024, com a extinção da Fundação Renova e a lentidão nas respostas ao desastre, houve a celebração de um novo modelo de governança, através da assinatura de um novo acordo judicial denominado Acordo de Repactuação de Mariana. Este trouxe uma modificação substancial no formato de reparação, a partir dos seguintes pilares:

Retirada das mineradoras da gestão direta das fases de resposta e reparação. A Fundação Renova foi extinta e, com isso, as mineradoras deixaram de atuar na gestão das ações ;

Centralização na Gestão Pública da execução e coordenação das ações remanescentes ao acordo TAC firmado em 2016. A partir deste novo modelo coube ao Poder Público (União, Governos dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo) e dos municípios afetados a gestão das ações de reparação e recuperação do desastre.

Dividido nos pilares de Indenização, Reassentamento e Ambiental, este novo acordo apresentou os seguintes objetivos. No que tange à etapa de indenização, as principais metas abordadas visavam concluir a etapa de indenização de forma definitiva, bem como os programas de indenização existentes executados pela extinta Fundação Renova. Ainda previa o pagamento antecipadamente do valor devido para os atingidos que possuem o Auxílio Financeiro Emergencial (AFE) ativo; Pagar, em parcela única, o valor equivalente ao Lucro Cessante ativo; Criar o Programa Indenizatório Definitivo (PID), como uma última oportunidade de indenização para quem recebeu negativa e/ou não foi contemplado em nenhum dos programas existentes. Assim, os atingidos deverão ingressar voluntariamente no PID após a devolutiva negativa ou desistência do respectivo requerimento nos demais programas existentes.

Já no contexto de reassentamento, o novo modelo previu: a finalização dos reassentamentos e entrega definitiva em Novo Bento Rodrigues e Paracatu; As últimas construções serão desenvolvidas em conjunto com atingidos e terão o acompanhamento do Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) e de assessorias técnicas.

Por fim, na esfera ambiental, as metas do Acordo de Reparação do Rio Doce estimavam a continuidade às ações compensatórias nos trechos impactados ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce; o Reflorestamento compensatório de 50 mil hectares e gestão da área impactada a Conclusão da recuperação de 5 mil nascentes, restauração de margens e do ambiente aquático e saneamento e qualidade da água na bacia entre outras..

Nesse emaranhado de propostas e modelos de governança analisados à luz da Teoria dos *Stakeholders*, as relações presentes na gestão de desastres trazem uma oportunidade de avanços na discussão sobre o tema. A literatura aponta que a negociação de conflitos ambientais no Brasil possui uma tendência de resolução dos mesmos na área política, jurídica e administrativa sem, no entanto, a utilização de técnicas ou metodologias de mediação, negociação ou resolução de conflitos. Nesse sentido, o evento do rompimento da barragem de Fundão se revelou como pioneiro no emprego de técnicas extrajudiciais de resolução, por meio da negociação entre os *Stakeholders*. Considerando-se as possíveis adaptações da Teoria dos *Stakeholders* integrada à discussão do caso, pode-se afirmar que a gestão dos *Stakeholders* é pautada nas relações presentes e nos mecanismos de negociação entre os envolvidos.

Em termos de comportamento, os conflitos evidenciaram diferentes formas de aquisição e processamento das informações sobre a gestão da própria cadeia, como papéis, expectativas, percepções e comunicações. Quanto ao aspecto estrutural, os conflitos refletiram um choque de interesses opostos, como a divergência de objetivos, autonomia e competição por recursos escassos. Por esta análise, o desalinhamento entre os *Stakeholders* nas mais diversas esferas, culminou no questionamento por parte dos atingidos na centralização das ações de reparação na Fundação Renova, como resultado da celebração do acordo entre a Samarco Mineração S. A. e suas controladas e o Governo para a condução do processo. Tais conflitos acarretaram a necessidade de intervenção do Poder Público na intermediação das negociações entre a Fundação Renova e os atingidos. Em corroboração a isto, há de se considerar ainda a presença de relações de Poder, interferindo nos vínculos e na autonomia entre cada ator envolvido. Nesse contexto, as seguintes proposições podem ser sugeridas com base nas análises realizadas:

Proposição 1: A legitimidade dos *Stakeholders* em situações pós-desastre se altera durante o ciclo de um desastre. Uma evolução do TTAC sob a forma de governança presente durante a reparação e reconstrução dos danos foi celebrado em junho de 2018, através do acordo denominado Termo de Ajustamento de Conduta (TAC). O TAC foi assinado pelas empresas Samarco Mineração S.A., Vale S.A. E BHP Billiton, Ministérios Públicos e Defensorias no âmbito federal e dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, dada a relevância destes *Stakeholders* durante a fase de recuperação desse desastre. Como principal característica, este acordo criou instâncias para inclusão dos atingidos na tomada de decisão dos programas reparatórios e compensatórios desenvolvidos pela Fundação Renova. Este fato ganhou evidência e notoriedade durante as análises das relações entre os envolvidos e suas interações durante a fase de recuperação. Para compreensão desta relevância, cabe recordar que o arranjo estrutural proposto inicialmente, via acordo TTAC, para gerir a fase de recuperação do desastre com o rompimento da barragem de Fundão apresentava uma estrutura da cadeia de *Stakeholders* baseada em uma tipologia denominada Parceria Líder. Dessa forma, o acordo TTAC firmado em 2016 previa toda a gestão pautada na Fundação Renova com pouco espaço para participação dos atingidos no processo de negociação e tomada de decisão. Diante dos conflitos envolvendo prioritariamente os atingidos e a Fundação Renova, houve diversas intervenções do Ministério Público Estadual, bem como do Ministério Público Federal e Defensorias Públicas. O resultado dessas intervenções foi a celebração do novo modelo de governança denominado TAC (Termo de Ajustamento de Conduta). Através deste acordo, houve um incremento na participação dos atingidos através da criação de espaços como câmaras e fóruns para promover a negociação entre os diversos envolvidos e propiciar a tomada de decisões compartilhada. Este TTAC foi substituído em 2024 pelo Acordo de Repactuação do Rio Doce, o qual determinou a extinção da Fundação Renova. Cabe destacar que tal acordo foi assinado entre o Poder Público e as empresas Samarco, vale e BHP no âmbito judicial, como forma de redefinir as ações de reparação integral e definitiva ao rompimento da barragem de fundão, com foco sustentável nas ações, uma vez que o TTAC demonstrou diversas fragilidades nesse aspecto. Desde 2023, o Tribunal Regional Federal da 6ª região (TRF6) atua no caso, por

meio da atuação do Núcleo de Solução Consensual de Conflitos do Supremo Tribunal Federal.

Proposição 2: A dinâmica das inter-relações é impactada pelos atributos identificados para cada *Stakeholder* em determinada fase de um desastre. As relações de Poder envolvem a atuação da Fundação Renova e foram motivo para recomendações do Ministério Público nas esferas Estadual e Federal. Em relação à essas posturas da Fundação Renova, o Ministério Público se posicionou ao afirmar que recebem constantemente denúncias de violações de direitos humanos de indivíduos ou comunidades atingidas, preponderantemente relacionadas à dificuldade de acesso à informação e à atuação unilateral e discricionária da Fundação Renova referente aos programas socioeconômicos e socioambientais em curso. Em relação ao atributo legitimidade, a análise permitiu destacar um incremento na Legitimidade dos atingidos como resultado da celebração do novo acordo de governança (TAC). Tornou-se evidente o reconhecimento da legitimidade das solicitações dos atingidos pelas partes que assinaram o acordo TAC. Ao mesmo tempo em que o acordo também reforça a legitimidade dos atingidos. Observa-se também um incremento no atributo poder associado a estes, já que a participação nas instâncias denominadas câmaras e fóruns lhes permitirá influenciar a tomada de decisões da Fundação Renova. Ainda, no contexto do Modelo de Saliência, pode-se observar um possível impacto do aumento da participação dos atingidos no aspecto do atributo Urgência. No caso desse atributo, há a expectativa de obter uma redução nas negociações e no tempo gasto para a tomada de decisões via TAC. Por extensão, é plausível que o aumento dos espaços de negociação culmine em mitigação de conflitos entre os *Stakeholders* e isso impacte diretamente no tempo para a implementação das ações de reparação e recuperação. Um fato evidenciado nesse sentido, diante da maior abertura à participação dos atingidos foi a obtenção por estes do direito de obterem suas novas casas projetadas de maneira personalizada, conforme o desejo de cada morador.

No escopo original do processo de reassentamento, isto não era previsto.

Proposição 3: Em situações pós-desastre, alianças orquestradas equilibram o poder entre as partes envolvidas quando comparadas com alianças frouxas. As intervenções do Poder Público, representado pelo Ministério Público

Federal, Ministério Público Estadual bem como pelas Defensorias Públicas em prol dos atingidos. Vale ressaltar que a teoria de *Stakeholders* advoga que as organizações são formadas por redes de *Stakeholders* internos e suas inter-relações. Diante de um cenário de tomada de decisão através do consenso, surgem pontos de tensão entre os envolvidos que podem culminar em uma crise ocasionada por diferentes expectativas, culturas e atributos relacionados aos diferentes *Stakeholders* envolvidos.

Nesse sentido, mesmo após a celebração do Termo de Ajustamento e Conduta (TAC) celebrado para promover uma maior interação e articulação entre os *Stakeholders*, especialmente os atingidos, evidenciou-se falhas no modelo de governança proposto. Durante a pesquisa de campo, notou-se uma grande desconfiança dos representantes dos atingidos em relação ao processo de tomada de decisão junto à Fundação Renova. Constatou-se durante a coleta de dados que o arranjo de governança da Fundação Renova não é legitimado por parte dos atingidos. Algumas das principais fontes de conflito entre os *Stakeholders* reportadas pelos atingidos era a percepção de que, mesmo participando dos conselhos implementados pela Fundação Renova após a celebração do TAC, a capacidade deles influenciar nas decisões era muito pequena e isto se tornou um entrave na legitimação das relações entre a Fundação Renova e os atingidos, principais beneficiários. Essa estrutura de relações entre os envolvidos pode ser compreendida a partir da análise dos atributos dos *Stakeholders* propostos por Mitchell *et al.* (1997). É notório que após quase três anos e meio, os processos de reparação e recuperação seguiam em constantes adequações. Segundo a própria Fundação Renova, esses processos durante a fase de recuperação do desastre estavam em aprimoramento, em uma construção conjunta com diversos públicos interessados, como a população atingida, especialistas e agentes. Os aprimoramentos eram buscados por meio de reuniões, assembleias, grupos de trabalho e com a participação de representantes dos atingidos no Comitê Interfederativo (CIF). Embora este seja um modelo de governança específico, pode-se afirmar que os modelos multi-*Stakeholders* mostraram-se caracteristicamente dinâmicos e, por isso, sofreram alterações em relação à participação dos envolvidos durante as fases do desastre, bem como mudanças na forma de interagir. Tais aspectos, impactam nas relações entre as partes interessadas.

Ao analisarmos a forma de coordenação entre *Stakeholders* nas Câmaras Regionais, Comissões Locais e Fórum dos Observadores com base em Gillmann (2010), nota-se a predominância de uma Aliança Frouxa. Esta é caracterizada pela inexistência de uma estrutura formal de coordenação entre os atores, representados pelos atingidos, em que os mesmos atuam em situação autônoma para promover o diálogo bilateral com a Fundação Renova. Por outro lado, observa-se também uma configuração mista alternando entre o arranjo de coordenação via Aliança Frouxa na Câmara Regional, onde os atingidos, em situação igualitária, discutem e o posicionamento resultantes dessas análises são encaminhados à Fundação Renova e a Aliança Orquestrada nas Câmaras Locais, dada a sua finalidade de posiciona-se como interlocutora junto à Fundação Renova e articular o consenso. Por fim, a análise do *Stakeholder* Comitê Interfederativo (CIF), aponta uma tendência para uma estrutura de coordenação baseada na Aliança Orquestrada em que o mesmo, via a participação dos atingidos, atua como interlocutor entre os atingidos com o intuito validar e orientar a atuação da Renova.

Proposição 4: Maior equilíbrio de Poder entre os *Stakeholders* em situações de pós-desastre reduz o tempo para consenso de soluções propostas. Através das análises realizadas para a compreensão das relações entre os envolvidos e suas respectivas articulações, identificou-se uma tipologia de coordenação baseada em uma tipologia de Parceria Líder, na qual a Fundação Renova tem a função de atuar em rede com os demais *Stakeholders* e articular a tomada de decisão, de forma coordenada. A celebração do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), em que a autonomia da Fundação Renova diante das ações de reparação e recuperação são evidenciadas. Todavia, cabe também ressaltar que o objetivo da celebração deste acordo entre o estado e as empresas que culminou na criação Fundação Renova foi proporcionar a negociação e articulação dos *Stakeholders* para a tomada de decisões. Posto isto, há de se considerar que o arranjo baseado em uma Parceria Líder se configura através de organizações complementares que se unem em uma parceria e criam estratégias conjuntas com ao menos um ator se comportando como tomador de decisão legitimado pelo restante do grupo. No caso, como já explicitado anteriormente, a Fundação Renova foi concebida com o intuito de viabilizar a tomada de decisão no contexto da fase de recuperação do desastre e, portanto, se enquadraria na posição de

tomador de decisão. Posteriormente, com a celebração de um novo acordo entre as partes denominado Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), essa estrutura da cadeia de *Stakeholders* foi modificada. Nota-se uma tentativa de promover a integração de instrumentos de mediação entre Estado, empresas e beneficiários (atingidos) que os envolvidos atuem sob o arranjo definido por Gilman (2010), como Aliança Orquestrada. Nesse sentido, o TAC foi concebido para promover uma maior integração entre os envolvidos e aumentar a participação dos atingidos na tomada de decisão. Conforme explorado nas análises referentes ao TAC, através deste termo foram criados fóruns, câmaras e comitês como instâncias de concepção e legitimação durante as negociações entre os *Stakeholders*. A partir da promoção de representatividade dos atingidos nesses espaços e, conseqüentemente, do empoderamento destes diante dos demais envolvidos houve uma modificação na estrutura e na prática de coordenação dos *Stakeholders*. Nota-se uma inclinação desta nova estrutura ao arranjo de coordenação via Aliança Orquestrada.

A legitimidade de cada ator envolvido tende a ser reafirmada, bem como a legitimidade de suas solicitações junto à Fundação Renova, que precisa articular com todos para ter êxito na tomada de decisão e implementar as ações de reparação e reconstrução. Nessa configuração, os *Stakeholders* possuem autonomia e um deles executa a gestão através da interlocução com os demais, visando garantir o consenso no processo decisório. Nesse contexto, estima-se também uma pulverização do atributo Poder entre os envolvidos, uma vez que a meta é obter o consenso e os resultados sejam gerados para o mesmo e a partir também deste consenso. Nessa ótica, os *Stakeholders* detentores de maior nível do atributo Poder teriam seu papel minimizado diante da estratégia de conciliação no processo de tomada de decisão. Conseqüentemente, o processo decisório tende a ser menos hegemônico, uma vez que a busca pelo consenso entre as partes tende a balancear as dimensões de poder, urgência e legitimidade para que a tomada de decisões possa avançar na fase de reconstrução. E esse avanço depende da resolução de conflitos entre os *Stakeholders*, bem como da efetivação das ações destes. Nesse aspecto, cabe aos *Stakeholders* não criarem embaraços ou quaisquer empecilhos que possam desarticular a rede de envolvidos. Ainda, de forma coerente com a literatura, como mecanismos de gestão de conflitos ambientais foram utilizadas técnicas de negociação, em

que a resolução do conflito ocorre por meio de acordo entre as partes, via a negociação entre as partes simples e direta. Nesse caso, conforme apontado por Costa (2003), entre outras formalidades, as partes determinam o tempo e o lugar de negociação, bem como a maneira de conduzi-la. Dessa forma, uma maior articulação entre relacionamentos entre os envolvidos relaciona-se diretamente ao desdobramento das ações destes em termos de processos e encurta o tempo para obtenção de resultados diante da análise de um desastre.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise das interações entre os *Stakeholders*, modelos e mecanismos de gestão destes apontados pela literatura, foi possível explicitar os elos, conflitos e relações pautadas nos atributos Poder, Legitimidade e Urgência visando analisar o processo de decisão entre os envolvidos nesse processo. Para tal, foi elaborada uma estrutura analítica que permitiu analisar as relações existentes entre os *Stakeholders* mapeados na fase de recuperação do rompimento da barragem de Fundão. Assim, o estudo embasou-se em modelos conceituais de integração de *Stakeholders* em operações humanitárias e modelos dinâmicos de múltiplos atores propostos na literatura aplicáveis ao caso do rompimento da barragem de Fundão, considerando-se a sua complexidade e a relevância em todas as dimensões do contexto de um desastre (ambiental, social e econômico).

Conforme já mencionado anteriormente neste estudo, a revisão bibliográfica foi pautada na pesquisa de modelos de integração entre *Stakeholders* aplicáveis no contexto de um desastre. Dentre os modelos identificados, foi possível verificar que, embora exista, o mapeamento dos envolvidos e das múltiplas interações entre estes, as estruturas conceituais apresentadas não relacionam o impacto de um desastre à maior complexidade do ambiente formado pela cadeia de *Stakeholders* e esta, à maior necessidade de articulação destes. Fato notório registrado no estudo de caso que evidencia tal complexidade e a dificuldade na articulação dos *Stakeholders* foi a necessidade de celebração de um novo acordo entre as partes, denominado TAC, o que gerou a extinção da Fundação Renova em 2024 e a assinatura de um acordo judicial denominado “Acordo de Repactuação”. Com o viés de um promover a conciliação entre as partes, o que ressalta os desafios e fragilidades na |gestão dos *Stakeholders* no cenário

público-privado e suas limitações, como validado pelo Modelo de Saliência proposto por Mitchell *et al.* (1997). Sobre estas limitações apontadas pela literatura destaca-se o carácter estático dos modelos de acordos, considerado o desafio de identificar as partes interessadas diante da natureza variável de posição destas. Isto é plausível uma vez que a classificação dos *Stakeholders* não é definitiva, ou seja, estes podem mudar de uma categoria para outra, dependendo do contexto e da situação. Nesse contexto, podem também adquirir ou perder atributos.

Nesse contexto, a presente tese corrobora com o estudo do Modelo de Saliência ao evidenciar as variações do atributo legitimidade dos *Stakeholders* nesse processo. Assim, baseado na análise do atributo legitimidade, o estudo evidenciou oscilações nesse atributo durante a fase de recuperação do ciclo de vida do desastre. Este fato possui potencial para alterar a classificação dos *Stakeholders* em uma análise das posições e atributos destes em um estudo. Conclui-se, portanto, que após a identificação dos atributos faz-se necessário o monitoramento destes uma vez que oscilações afetam a classificação dos *Stakeholders* e a dinâmica das inter-relações é impactada. Além disto, o presente estudo evidenciou que as relações entre as partes interessadas estão relacionadas ao sistema de governança da rede de *Stakeholders*, com impactos diretos no processo decisório durante a livre negociação entre as partes. A centralização das ações de reparação e recuperação na organização denominada Fundação Renova não alcançou o objetivo de promover uma maior agilidade na tomada de decisão, tão pouco, pode ser relacionada à contribuição dessa estrutura na mitigação de conflitos entre as partes. Assim, a falta de gestão dos *Stakeholders* corroborou para a manutenção de conflitos entre os atores envolvidos e da lentidão das ações de recuperação do desastre estudado em consequência disso. Soma-se à isso, o desequilíbrio do atributo Poder entre os *Stakeholders* mapeados como variável que deve ser considerada na proposição de uma estrutura de governança diante de um desastre de alta complexidade.

Dentre os diversos arranjos de coordenação de *Stakeholders* apresentados na literatura foi analisada a aplicabilidade destes no contexto de um desastre súbito com características multi-*Stakeholders*. A estrutura de coordenação via Aliança Orquestrada ganhou destaque nas análises iniciais, uma vez que o primeiro

acordo celebrado entre as partes, denominado Termo de Transição e Ajuste de Conduta (TTAC), se aproximou dessa estrutura. Nela, parte-se da premissa de existência de uma autonomia entre os atores e um ou mais deles possuem boa capacidade de gestão (no caso, a Fundação Renova) e conseguem atuar como interlocutores para o restante dos envolvidos no processo de decisão, de modo a contribuir para a articulação do consenso entre os mesmos. Considerando a premissa que, em situações pós-desastre, alianças orquestradas equilibram o poder entre as partes envolvidas quando comparadas com alianças frouxas, não foi evidenciado esse aspecto nas relações analisadas, principalmente, nas relações entre a Fundação Renova e os atingidos (beneficiários).

É possível inferir também que o segundo acordo celebrado entre as partes via Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) no qual foi reestruturada a governança propiciou maior articulação entre os *Stakeholders*. Este acordo consistiu em um arranjo institucional com a criação de regras de interação entre órgãos estatais (executivo e judiciário), empresas (Vale S.A., Samarco Mineração S.A. e BHP Billiton). Na nova configuração proposta, a forma de interação entre *Stakeholders* foi pautada em instâncias previamente definidas como Câmaras Regionais, Comissões Locais e Fórum dos Observadores. O arranjo foi caracterizado pela inexistência de uma estrutura formal de coordenação entre os atores, no qual os mesmos atuam em situação autônoma para promover o diálogo bilateral com a Fundação Renova. Como diante dessa nova configuração também não se obteve êxito suficiente para garantir a reparação definitiva e indenizações aos atingidos, no ano de 2024 foi celebrado um novo acordo de reparação

Uma limitação deste estudo é que a pesquisa teve foco nas localidades atingidas pela lama pertencentes ao município de Minas Gerais, composta pelos vilarejos onde a devastação foi maior: Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo e Gesteira. Dessa forma, a pesquisa contemplou uma amostra dos *Stakeholders* inseridos nesse contexto e não todos atingidos de outros municípios. De forma similar, a coleta de dados teve foco em uma amostra dos atingidos que residem em Mariana, em casa alugadas pela Fundação Renova.

Como sugestões de estudos futuros, elenca-se a realização de estudos relacionados ao desastre de Mariana sob a perspectiva do campo da Administração são sugeridos alguns estudos: a) conduzir pesquisas longitudinais ou

na forma de painéis, posto que o fenômeno tem caráter dinâmico que aqui fora abordado no prazo considerado como três anos após o desastre; b) expandir o recorte geográfico para outros municípios da zona de influência do desastre para avaliar as interações entre a Fundação e os *Stakeholders* atingidos (beneficiários). Uma hipótese a ser testada seria que a formalização da estrutura de governança em uma situação pós-desastre reproduz os níveis de poder dos atores envolvidos; c) elaborar estudos correlacionais e explicativos por meio de pesquisa quantitativa, de modo que as considerações finais aqui levantadas sejam validadas por meio de hipóteses a serem testadas; d) elaborar uma análise sob a articulação entre as partes interessadas no contexto de *Stakeholders* do grupo privado representado por organizações de capital aberto e de capital fechado.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental?** Rio de Janeiro: Garamond, 2009.
- ARAÚJO, S. B. de. **Manual de gestão e comando operacional: guia básico para bombeiros**. Lisboa, 2005.
- BALCIK, B.; BEAMON, B.; KREJCI, C.; MURAMATSU, K.; RAMIREZ, M. Coordination in humanitarian relief chains: practices, challenges and opportunities. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 1, p. 22-34, 2010.
- BRASIL. Acordo Judicial para Reparação Integral e Definitiva Relativa ao Rompimento da Barragem de Fundão. **Tribunal Regional Federal da 6ª Região**, Belo Horizonte, 25 out. 2024.
- BRASIL. Ministério Público Federal. **Recomendação Conjunta nº 10, de março de 2018**. Brasília, DF: Ministério Público Federal, 2018.
- COZZOLINO, A. **Humanitarian logistics: cross-sector cooperation in disaster relief management**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **The handbook of qualitative research**. 2. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2000.
- FONTAINHA, Tharcisio Cotta *et al.* Public-Private-People Relationship Stakeholders Model for disaster and humanitarian operations. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 2015.
- LEIRAS, A. *et al.* **Logística humanitária**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- MITCHELL, Ronald K.; AGLE, Bradley R.; WOOD, Donna J. Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts. **Academy of Management Review**, v. 22, n. 4, p. 853-886, 1997.

TAYLOR, J. What is organization? Thinking about organization in a new way: an inquiry into the ontological foundations of organization. **Electronic Journal of Communication / La Revue Électronique de Communication**, v. 10, n. 1-2, 2000. Disponível em: <http://www.cios.org/www/ejcmain.htm>. Acesso em: 24 ago. 2019.

TOMASINI, Rolando; VAN WASSENHOVE, Luk. **Humanitarian logistics**. [S. l.]: Springer, 2009.

VIVACQUA, Melissa; VIEIRA, Paulo Henrique Freire. Conflitos socioambientais em Unidades de Conservação. **Política & Sociedade**, v. 4, n. 7, p. 139-162, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

INFLUÊNCIA DE UM CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA DE *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* UTILIZANDO DIFERENTES SUBSTRATOS

Naiara Lopes Lacerda

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Beatriz Santana da Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Valmir Félix de Lima

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Gisely Alves da Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Maria de Los Angeles P. F. Palha

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Jorge Vinícius F. L. Cavalcanti

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Derovil Antônio dos Santos Filho

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Maurício Alves da Motta Sobrinho

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

RESUMO

A aplicação de campos magnéticos (CM) tem sido investigada como uma estratégia de bioestimulação para melhorar o desempenho de processos fermentativos. Diante desse contexto, o presente estudo avaliou o efeito de um campo magnético estático não uniforme na fermentação alcoólica de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando glicose e sacarose como substratos. A metodologia envolveu ensaios de fermentações conduzidos durante 24 h, com e sem exposição a um CM não uniforme, de intensidade média de aproximadamente 13 mT. Ao final do processo, foram determinados a concentração de etanol, o consumo de substrato, o rendimento fermentativo e a eficiência do processo. Para a glicose, as amostras expostas ao CM apresentaram rendimentos médios de 0,562 g/g (0,581 e 0,544 g/g em duplicata), enquanto que para a sacarose, foram obtidos rendimentos médios de 0,713 g/g (0,694 e 0,732 g/g em duplicata). Valores de eficiência superiores a 100% foram observados e devem ser interpretados com cautela, pois refletem limitações e incertezas analíticas do sistema experimental, e não superação dos limites estequiométricos teóricos. Em suma, os resultados indicam comportamentos promissores que sugerem a sensibilidade da *S. cerevisiae* ao estímulo magnético a depender do substrato, mas indicam a necessidade de mais repetições e maior rigor analítico para a confirmação desse potencial.

Palavras-chave: bioestimulação; glicose; sacarose; etanol.

INTRODUÇÃO

A fermentação alcoólica consiste em uma reação metabólica na qual microrganismos convertem carboidratos em etanol e dióxido de carbono, sendo as leveduras do gênero *Saccharomyces*, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, os principais agentes utilizados industrialmente. Nesse processo, os microrganismos fermentativos que convertem carboidratos em energia pela via glicolítica, formando o piruvato, que em condições fermentativas, é convertido em etanol e CO₂ (Bai, Anderson e Moon-Young, 2008). Os produtos sintetizados pelas células nesses bioprocessos são de grande interesse econômico e industrial, pois o etanol é utilizado em bebidas alcoólicas, e o dióxido de carbono é utilizado para o crescimento de pães, ambos resultantes do cultivo de leveduras do gênero *Saccharomyces* (Alberts *et al.*, 2011; Tortora *et al.*, 2024; Nelson e Cox, 2014).

A eficiência da conversão de açúcares em etanol durante a fermentação alcoólica é influenciada por diversos fatores, que podem ser classificados como físicos (temperatura e pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes e inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem, concentração da levedura e contaminações) (Lima, 2001). De acordo com Morais (2009), em condições de estresse podem provocar alterações fisiológicas e metabólicas na levedura, modificando a distribuição do carbono entre etanol, biomassa e produtos secundários, como glicerol e ácidos orgânicos, e consequentemente reduzindo a eficiência do processo. Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias capazes de modular o metabolismo da levedura e melhorar o desempenho fermentativo constitui uma importante área de investigação, envolvendo desde modificações genéticas até o aprimoramento das condições de cultivo e operação dos bioprocessos (Auesukaree, 2017; Qi *et al.*, 2019; Konopacka *et al.*, 2019).

Entre as estratégias investigadas para o aprimoramento de bioprocessos, a aplicação de campos magnéticos tem despertado interesse por seu potencial de modificar respostas fisiológicas e metabólicas de microrganismos. Em *Saccharomyces cerevisiae*, a exposição a CM pode alterar a expressão de genes relacionados ao estresse, a atividade enzimática, o crescimento celular e a produção de metabólitos de interesse biotecnológico (Akarca *et al.*, 2026; Ahmad *et al.*, 2026). Entretanto, os efeitos observados são dependentes das condições experimentais, incluindo intensidade e tempo de exposição, além da configuração do sistema de cultivo, sendo relatados tanto aumentos quanto reduções na produção de biomassa e etanol (Da Motta *et al.*, 2004; Santos *et al.*,

2012; Lemos *et al.*, 2022; Giraldo-Rodriguez *et al.*, 2025). Dessa forma, embora os CM apresentem potencial para modular o metabolismo de *S. cerevisiae*, ainda são necessários estudos que esclareçam sua influência sobre o desempenho fermentativo em diferentes condições de processo.

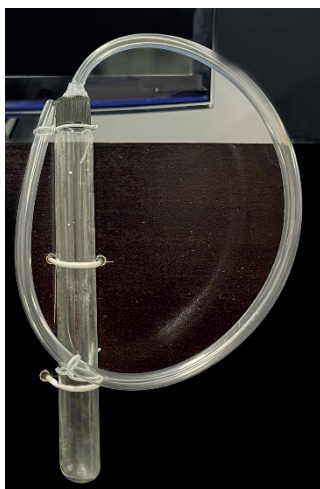
Diante desse cenário, o presente trabalho avaliou a influência da exposição a um campo magnético estático não uniforme na fermentação alcoólica de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando diferentes substratos fermentescíveis (glicose e sacarose), visando contribuir para a compreensão da aplicação de estímulos magnéticos no desempenho fermentativo e na conversão de açúcares em etanol.

METODOLOGIA

Reatores de Fermentação

Os experimentos de fermentação alcoólica foram realizados utilizando 16 reatores em escala laboratorial com um volume útil de 4,5 mL. Os reatores (Figura 1) consistiam em tubos de vidro transparente selados com uma tampa de plástico e equipados com uma mangueira transparente de cloreto de polivinila (PVC) de 50 cm de comprimento (1/4 × 1,0 mm), permitindo a liberação de gás e, ao mesmo tempo, mantendo condições anaeróbicas, as quais foram obtidas por meio de purga com N₂.

Figura 1 - Reator volumétrico desenvolvido para execução do experimento.



Fonte: Os Autores (2026).

Aplicação do Campo Magnético (CM)

Um campo magnético estático foi aplicado por meio de ímãs permanentes de ferrita (15 mm de diâmetro × 3 mm de espessura). Cada reator foi posicionado entre dois conjuntos opostos, compostos por cinco ímãs cada, com pólos idênticos voltados para o reator em cada lado e polaridades opostas voltadas uma para a outra. Esse arranjo gerou um campo magnético não uniforme com intensidade média de aproximadamente 13 mT e um gradiente de campo magnético pronunciado entre a parede do reator e seu centro.

A densidade do fluxo magnético foi medida utilizando um teslametro digital (PHYWE, Göttingen, Alemanha) equipado com uma sonda de efeito Hall, adequada para medições diretas e alternadas de campos magnéticos. O instrumento opera em faixas de medição de 20, 200 e 2.000 mT, com uma sensibilidade de 10 mT.

Preparação do Inóculo e meio de fermentação

O microrganismo fermentador utilizado foi o *Saccharomyces cerevisiae*, obtido a partir de fermento de padeiro seco instantâneo comercial (Dona Benta). Antes dos experimentos de fermentação, o fermento foi ativado por meio de pré-inoculação e cultivado em um meio de crescimento apropriado por 24 horas, a fim de obter o inóculo utilizado nos ensaios.

O meio de fermentação foi adaptado a partir da formulação proposta por Muniz (2002). O meio continha extrato de levedura, ureia, fosfato monobásico de potássio, sulfato de magnésio e glicose ou sacarose como fonte de carbono. A composição do meio de fermentação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do meio de fermentação utilizado nos ensaios de fermentação alcoólica.

Composição do meio	Valor utilizado
Extrato de levedura (2,5 g/L)	1,25 g
Ureia (2,5 g/L)	1,25 g
Fosfato de potássio monobásico anidro - KH_2PO_4 (3,0 g/L)	1,50 g
Sulfato de magnésio - MgSO_4 (0,6 g/L)	0,3 g
Glicose (100 g/L)	25 g
Sacarose (100 g/L)	25 g
Água destilada	500 mL

Fonte: Adaptado de Muniz, 2002.

Design Experimental

O delineamento experimental consistiu em duas condições de tratamento: reatores expostos ao campo magnético e reatores de controle sem exposição ao campo magnético. Para cada condição, foram avaliados quatro reatores contendo glicose e quatro contendo sacarose, totalizando 16 unidades experimentais. Todos os reatores receberam a mesma concentração de inóculo e foram incubados em condições anaeróbicas à temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C) por 24 h (Figura 2).

Figura 2 - Configuração experimental utilizada para ensaios de fermentação alcoólica.

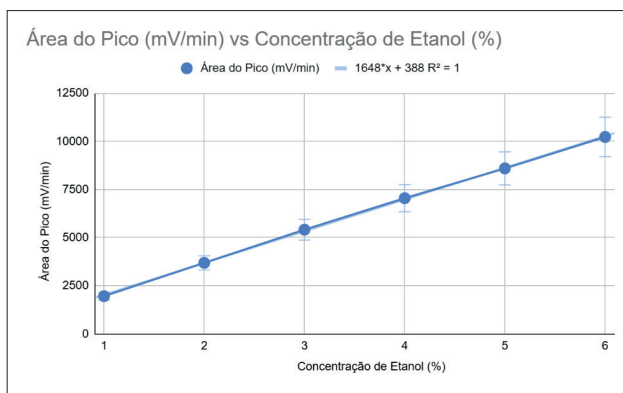


Fonte: Os Autores (2026).

Métodos Analíticos

Ao final do período de fermentação, os açúcares redutores totais foram determinados utilizando o método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). A concentração de etanol foi quantificada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). As curvas de calibração foram preparadas utilizando soluções-padrão de etanol de concentrações conhecidas para a geração da curva-base (Figura 3), e os resultados cromatográficos foram convertidos em concentração volumétrica de etanol mediante a aplicação do fator de correção de densidade do etanol a 20 °C (0,789 kg L⁻¹).

Figura 3 - Gráfico de calibração para obtenção da curva-base.



Fonte: Os Autores, 2026.

RESULTADOS

Efeito do campo magnético na fermentação alcoólica

Após 24 horas de exposição contínua a um campo magnético com intensidade de aproximadamente 13 mT nos reatores de fermentação alcoólica, foram determinadas a concentração de etanol, o consumo de substrato, o rendimento da fermentação (YP/S) e a eficiência do processo para todos os reatores experimentais. Os resultados obtidos para as fermentações de glicose e sacarose estão resumidos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Resultados da fermentação alcoólica da glicose após 24 horas.

Condição	Amostra	Etanol (g/L)	Açúcar consumido (g/L)	Rendimento (YP/S)	Eficiência (%)
Sem Campo Magnético	1	36,96	71,57	0,516	101,0
	2	27,82	72,85	0,382	74,7
Com Campo Magnético	1	35,47	60,99	0,581	113,8
	2	43,81	80,48	0,544	106,5

Fonte: Os Autores (2026).

Para confirmar se o modelo utilizado se ajustou bem aos dados experimentais obtidos, o valor do coeficiente de determinação (R^2) deve ser superior a 0,99, enquanto o valor do erro médio relativo (E) deve ser menor que 10%. Por esse

motivo, os valores dos erros médios relativos de cada ensaio foram calculados para todos os modelos ajustados, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos na fermentação alcoólica da sacarose.

Condição	Amostra	Etanol (g/L)	Açúcar consumido (g/L)	Rendimento (YP/S)	Eficiência (%)
Sem Campo Magnético	1	29,17	54,30	0,537	99,9
	2	36,35	58,35	0,623	115,8
Com Campo Magnético	1	45,83	66,03	0,694	129,0
	2	44,52	60,78	0,732	136,1

Fonte: Os Autores (2026).

No caso da glicose, as amostras expostas ao campo magnético apresentaram rendimentos (0,581 e 0,544 g/g) e eficiências (113,8% e 106,5%) que superaram a média das amostras sem o campo magnético e também o rendimento teórico estequiométrico determinado pela lei de Gay-Lussac para conversão de glicose em etanol (0,511 g/g) (Bai, Anderson e Moon-Young, 2008; Almeida *et al.*, 2022). A sacarose sob a influência do campo magnético apresentou um aumento claro e consistente. Os rendimentos foram iguais a 0,694g/g e 0,732 g/g, com eficiências consistentemente altas (129,0% e 136,1%).

DISCUSSÃO

Análise do desempenho da fermentação sob bioestimulação magnética

Os resultados demonstraram que a influência do campo não foi uniforme entre os substratos, com resultados mais consistentes na fermentação da sacarose do que na fermentação da glicose. Uma possível explicação está nas diferenças entre as etapas envolvidas na disponibilização e assimilação desse substrato por *Saccharomyces cerevisiae*. A sacarose pode ser inicialmente hidrolisada pela enzima invertase, produzindo glicose e frutose, que são posteriormente assimiladas pela célula por diferentes sistemas de transporte de açúcares. Além disso, a utilização da sacarose pode envolver mecanismos de transporte associados ao gradiente eletroquímico de prótons gerado pela H⁺-ATPase, enquanto a glicose é captada por difusão facilitada (mediada por

transportadores da família Hxt), guiada pelo gradiente de concentração através da membrana celular, sem consumo direto de energia metabólica da bomba de prótons da levedura (de Andrade *et al.*, 2021). Dessa forma, considerando que o campo magnético pode interferir em processos associados à membrana celular e ao metabolismo energético, é possível que as diferenças nas etapas de utilização desses substratos confirmem respostas distintas à bioestimulação magnética. Entretanto, nesse estudo não foram avaliadas variáveis relacionadas à atividade da H⁺-ATPase, ao transporte de açúcares ou à atividade da invertase.

A distribuição espacial do campo magnético no interior dos reatores constitui um aspecto relevante na análise dos resultados. O arranjo experimental constituído por ímãs permanentes de ferrita promoveu um CM com intensidade média de 13 mT e um gradiente magnético entre a parede e o centro dos reatores, fazendo com que as células de *Saccharomyces cerevisiae* presentes no meio estivessem potencialmente submetidas a diferentes intensidades de campo, o que pode resultar em diferentes respostas fisiológicas. Essa configuração reforça que os efeitos do CM sobre micro-organismos não dependem exclusivamente da intensidade nominal, mas também da geometria e da distribuição espacial do campo. Deutmeyer *et al.* (2011) ao investigarem a influência de campos magnéticos homogêneos e não homogêneos sobre a fermentação de *S. cerevisiae*, obtiveram respostas distintas entre as configurações estudadas, indicando que a presença de gradientes magnéticos pode modificar a resposta fermentativa da levedura. Esse fator pode ser relevante para compreender o comportamento das amostras de glicose sob CM, nas quais foram observados rendimentos de 0,581 e 0,544 g/g nas amostras 1 e 2, respectivamente, refletindo a influência da exposição não-uniforme sobre a população celular.

Em contrapartida, a resposta observada na fermentação da sacarose indica que a influência do campo não uniforme pode estar associada à distribuição espacial da exposição magnética e também a natureza do substrato e às características metabólicas da levedura. Estudos recentes reforçam que a resposta de *S. cerevisiae* a campos magnéticos na faixa de 10–15 mT pode modificar o metabolismo celular, incluindo o consumo de glicose e a formação de metabólitos, mas os efeitos dependem das condições experimentais e não necessariamente resultam em aumento uniforme da produção de etanol (Sincak

et al., 2024). Em suma, a utilização de campos magnéticos não uniformes deve ser compreendida como uma variável de processo, cuja influência sobre a fermentação depende da intensidade, do gradiente, da configuração espacial do campo e das características do sistema biológico submetido ao tratamento.

Adicionalmente, a análise do consumo de açúcar revela nuances metabólicas relevantes. Na ausência do campo magnético, o consumo de glicose (média de 72,21 g/L) foi superior ao de sacarose (média de 56,33 g/L). Esse comportamento é microbiologicamente esperado para um mesmo intervalo de tempo, visto que a glicose é assimilada de forma direta pela levedura, enquanto a sacarose exige a etapa prévia de clivagem enzimática pela invertase em glicose e frutose. Sob a influência do campo magnético, contudo, as taxas de consumo de ambos os substratos se aproximaram de patamares similares (≈ 60 a 80 g/L para glicose e ≈ 61 a 66 g/L para sacarose), sugerindo um potencial efeito da bioestimulação sobre o metabolismo glicolítico ou sobre a atividade enzimática/transporte celular. Contudo, é fundamental ressaltar que os valores de eficiência calculados superaram 100% em diversas amostras (chegando a 136,1% para a sacarose, considerando seu limite estequiométrico teórico de 0,538 g/g). Eficiências superiores ao máximo teórico não representam uma superação física dos limites metabólicos, mas sim a presença de incertezas e erros experimentais acumulados, como variações na determinação analítica de açúcares residuais, perdas por evaporação do etanol ou oscilações nas concentrações iniciais reais dos meios. Portanto, embora a aproximação das taxas de consumo aponte para um indício de alteração fisiológica induzida pelo campo magnético, os desvios analíticos limitam conclusões consistentes sobre o ganho real de conversão.

Do ponto de vista tecnológico, os resultados sugerem que a aplicação de um CM estático não uniforme pode influenciar o desempenho da fermentação alcoólica, especialmente nas condições contendo sacarose, que apresentaram respostas mais consistentes. Entretanto, a variabilidade observada entre os tratamentos e a ocorrência de valores de rendimento superiores aos limites estequiométricos indicam a necessidade de maior controle experimental e analítico antes de qualquer aplicação prática. Assim, embora os resultados sejam promissores, eles devem ser considerados como indicativos preliminares do potencial da bioestimulação magnética na fermentação alcoólica.

CONCLUSÃO

A aplicação de um campo magnético estático não uniforme, com intensidade média de aproximadamente 13 mT, promoveu alterações no desempenho da fermentação alcoólica de *Saccharomyces cerevisiae*, com respostas variando com tipo de substrato utilizado. A fermentação da glicose e da sacarose apresentou aumentos no rendimento das amostras sob bioestimulação magnética quando comparadas às condições na ausência do campo.

Os resultados indicam que a bioestimulação magnética apresenta potencial como estratégia de modulação da fermentação alcoólica, especialmente nas condições avaliadas para a sacarose. Entretanto, os valores de eficiência superiores a 100% e alguns rendimentos acima do limite teórico estequiométrico mostram a necessidade de maior controle experimental e analítico. Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se ampliar o número de repetições, avaliar a cinética de consumo dos substratos e de formação do etanol, além de investigar de forma mais detalhada a influência da intensidade e da distribuição espacial do campo sobre a fisiologia celular.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A.; MAZUMDER, J. A.; ABUSHAR, W.; OUIES, E.; SHEIKH, A. Y.; SHEEHAN, D. *Saccharomyces cerevisiae* response to magnetic stress: role of a protein corona in stable biosynthesis of silver nanoparticles. **Microorganisms**, v. 14, n. 178, 2026. DOI: 10.3390/microorganisms14010178.
- AKARKA, G.; ATIK, A.; ATIK, I.; JANSELI, A.; DENIZKARA, A. J.; ÇETINTAS, Y. Effect of magnetic field treatment at different intensities on the quality and biological properties of bread produced with *Saccharomyces cerevisiae*. **ACS Omega**, v. 11, p. 38791-38801, 2026. DOI: 10.1021/acsomega.6c01691.
- ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Fundamentos da biologia celular**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2011.
- ALMEIDA, I. C.; PACHECO, T. F.; MACHADO, F.; GONÇALVES, S. B. Evaluation of different strains of *Saccharomyces cerevisiae* for ethanol production from high-amylopectin BRS AG rice (*Oryza sativa* L.). **Scientific Reports**, v. 12, n. 2122, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-06245-0.
- AUESUKAREE, C. Molecular mechanisms of the yeast adaptive response and tolerance to stresses encountered during ethanol fermentation. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 124, n. 2, p. 133-142, 2017. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2017.03.009.
- BAI, F. W.; ANDERSON, W. A.; MOON-YOUNG, M. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 89-105, 2008. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2007.09.002.

DA MOTTA, M. A.; FERREIRA MUNIZ, J. B.; SCHULER, A.; DA MOTTA, M. Static magnetic fields enhancement of *Saccharomyces cerevisiae* ethanolic fermentation. **Biotechnology Progress**, v. 20, p. 393-396, 2004. DOI: 10.1021/bp034263j.

DE ANDRADE, C. M.; COGO, A. J. D.; PEREZ, V. H.; SANTOS, N. F. dos; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L.; JUSTO, O. R.; FAÇANHA, A. R. Increases of bioethanol productivity by *S. cerevisiae* in unconventional bioreactor under ELF magnetic field: new advances in the biophysical mechanism elucidation on yeasts. **Renewable Energy**, v. 168, p. 836-842, 2021. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.074.

DEUTMEYER, A.; RAMAN, R.; MURPHY, P.; PANDEY, S. Effect of magnetic field on the fermentation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae*. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v. 2, n. 4, 2011.

GIRALDO-RODRIGUEZ, I.; OSSORIO-TRÓCHEZ, A. M.; GIRALDO-CASTRO, I. M.; DIAZ, C. A.; CEBALLOS-BERMUDEZ, A.; ALVAREZ-VASCO, C. A.; DAZZAROLA, C. M.; PEREZ-CORREA, J. R.; CAICEDO-ORTEGA, N. H. Multi-objective optimization of glutathione production by *Saccharomyces cerevisiae* in a mini-bubble column reactor via a multifactorial batch-design approach. **Bioresource Technology Reports**, v. 32, 2025. DOI: 10.1016/j.biteb.2025.102441.

KONOPACKA, A.; RAKOCZY, R.; KONOPACKI, M. The effect of rotating magnetic field on bioethanol production by yeast strain modified by ferrimagnetic nanoparticles. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 473, p. 176-183, 2019. DOI: 10.1016/j.jmmm.2018.10.053.

LEMOS, W. J. F.; DA MATA; GONÇALVES, I.; GUEDES, J. B.; DEAMICI, K. M.; SANTOS, L. O. Effects of pressure and magnetic field on glutathione production by *Saccharomyces cerevisiae*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, 2022. DOI: 10.1590/1678-4324-2022210238.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. Produção de etanol. /n: ALTERTHUM, F.; SCHMIDELL NETTO, W.; LIMA, U. A.; MORAES, I. O. **Biotechnology industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. v. 3, p. 1-43.

MORAIS, M. R. **Produção de etanol em meio sintético com recuperação de fermento entre bateladas sucessivas**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, 2009.

MUNIZ, J. B. N. F. **Influência da ação de campos magnéticos estáticos, não homogêneos, na fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae***. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. New York: Artmed, 2014.

QI, Y.; LIU, H.; CHEN, X.; LIU, L. Engineering microbial membranes to increase stress tolerance of industrial strains. **Metabolic Engineering**, v. 53, p. 24-34, 2019. DOI: 10.1016/j.jymben.2018.12.010.

SANTOS, L.; T. A.; ÚBEDA, B. T.; ALEGRE, R. M. Glutathione production using magnetic fields generated by magnets. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, p. 921-926, 2012. DOI: 10.1590/S1516-89132012000600016.

SINCAK, M.; TURKER, M.; DERMAN, U. C.; ERDEM, A.; JANDACKA, P.; LUPTAK, M.; LUPTAKOVA, A.; SEDLAKOVA-KADUKOVA, J. Exploring the impact of magnetic fields on biomass production efficiency under aerobic and anaerobic batch fermentation of *Saccharomyces cerevisiae*. **Scientific Reports**, v. 14, n. 12869, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-63628-1.

TORTORA, G. J.; CASE, C. L.; BAIR III, W. B.; WEBER, D.; FUNKE, B. R. **Microbiologia**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2024.

VILLEN, R. A. **Mauá: biotecnologia – histórico e tendências**. São Caetano do Sul: Escola de Engenharia de Mauá, 2009. Apostila.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Julianno Pizzano Ayoub

Doutorando em Bioenergia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) em rede com a Universidade Estadual de Londrina (UEL), Mestre em Bioenergia, Engenheiro Ambiental e Engenheiro de Segurança do Trabalho, com mais de 20 especializações nas áreas ambiental e de Engenharia. Como escritor, contribuí com mais de 30 obras publicadas e atualmente sou membro do conselho editorial e do conselho técnico e científico de editoras reconhecidas internacionalmente. Tenho experiência em gestão de pessoas, redução de custos, adequações às Normas Regulamentadoras (NRs), aplicação de ferramentas de Qualidade, certificações, auditorias, perícias e treinamentos. Trabalhei na Cooperativa Agrária no setor de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA) e na Maltaria. Também fui responsável por um laboratório de análises e pelo desenvolvimento de produtos e processos de isolantes termoacústicos minerais, além de atuar como Gerente de uma Fábrica de Lã de Rocha. Atuei como pesquisador e consultor na montagem

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3534582408466846>

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

Empresário, doutorando e escritor, atua em diferentes áreas da Engenharia. Trabalha com pesquisa à campo e laboratorial, enfocando as áreas de Bioenergia e Engenharia Ambiental. Possui Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Possui Graduação interrompida em Engenharia Civil pela Faculdade Campo-Real. Possui Especialização em Estruturas de Concreto e Fundações pela Universidade Paranaense. Mestre em Bioenergia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Tem experiência no ramo de construção civil como proprietário de empresa e consultor. Atuou com elaboração e implantação de gestão ambiental, técnicas e matéria prima sustentável. Ministrou palestras e cursos

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9482779378958000>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento de Água: 69, 70, 73, 78, 80, 82, 83, 89

Automação de Ensaios: 9

B

Bioacumulação: 105, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117

Bioestimulação: 166, 172, 173, 174, 175

Bioindicadores: 105, 106, 109, 110, 112, 119

C

Calidad Ambiental: 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 115, 118

Ciclo de Vida do Estator: 9

Cidadania: 32, 37, 39, 42, 44

Conforto Térmico: 91, 92, 93, 94, 98, 100, 102

D

Descargas Parciais: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 20, 21, 28

Divulgação Ambiental: 121, 122, 125, 127, 136

E

Educação: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 70, 74, 76, 77, 79, 82, 84

Educação Imobiliária: 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45

Ensino Fundamental: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 75, 77, 79, 81, 82

Etanol: 111, 166, 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176

Eutrofização: 105, 106, 108, 109, 112, 113, 115, 116, 117, 119

F

Floresta Estacional Semidecidual: 49, 51

G

Geoprocessamento: 49

Gestão de Desastres: 143, 151, 154

Glicose: 166, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175

Governança Corporativa: 121, 122, 123, 124, 126, 138, 139, 140

Greenwashing: 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141

H

Habitação Bioclimática: 91, 92, 93, 101, 102

Hidrogerador: 9

Humedales: 105, 106, 107, 108, 115, 116, 117, 118, 119

K

Karl Popper: 31, 32, 35, 36, 44, 45

M

Materiais de Mudança de Fase: 92, 93, 98, 100

Mineração: 49, 50, 51, 63, 64, 151, 152, 154, 155, 162

Muro Trombe: 92, 93, 97, 98, 100, 101, 102

N

NDVI: 49, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68

R

Recuperação Florestal: 49

Regularização Fundiária: 32, 33, 34, 37, 40, 41, 42, 44, 45, 46

S

Sacarose: 166, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175

Saúde: 42, 70, 71, 72, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 92, 94

Sustentabilidade: 72, 102, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 143

Sustentabilidade Empresarial: 121, 139

T

Teoria dos Stakeholders: 143, 144, 154



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

