

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)

Ciência, tecnologia e
inovação na perspectiva das
engenharias 2



Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)

Ciência, tecnologia e
inovação na perspectiva das
engenharias 2



Editora chefe	
Prof ^a Dr ^a Antonella Carvalho de Oliveira	
Editora executiva	
Natalia Oliveira	
Assistente editorial	
Flávia Roberta Barão	
Bibliotecária	
Janaina Ramos	
Projeto gráfico	2025 by Atena Editora
Ellen Andressa Kubisty	Copyright © Atena Editora
Luiza Alves Batista	Copyright do texto © 2025 O autor
Nataly Evilin Gayde	Copyright da edição © 2025 Atena
Thamires Camili Gayde	Editora
Imagens da capa	Direitos para esta edição cedidos à
iStock	Atena Editora pelo autor.
Edição de arte	<i>Open access publication by Atena</i>
Luiza Alves Batista	Editora



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

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof^a Dr^a Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Prof^a Dr^a Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof^a Dr^a Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

- Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaina/TO
Prof^a Dr^a Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a Dr^a Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^a Dr^a Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof^a Dr^a Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^a Dr^a Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina
Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C569	Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias 2 / Organizadora Mariana Natale Fiorelli Fabiche. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3149-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.497252701 1. Engenharia. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Título.
CDD 620	
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação da obra publicada, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Olá amigo leitor, é com grande entusiasmo e dedicação que apresento a você o e-book: “Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias 2”. Esse e-book é constituído por onze capítulos de trabalhos científicos que aborda temas atuais e relevantes na área das Engenharias.

Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, a obra apresenta estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil e no exterior, abordando temas discutidos nas diversas áreas da engenharia.

No capítulo 1 é apresentado uma abordagem pedagógica para mitigar a evasão acadêmica em cursos de engenharia pós-pandemia. O capítulo 2 apresenta a eficiência do manejo de resíduos sólidos no setor hoteleiro. Dentro do capítulo 3 é discutido sobre uma tecnologia de contenção: inovação com anéis hexagonais e blocos de concreto pré-moldados. No capítulo 4 um estudo sobre a flotação coletiva pirita-arsenopitira. O capítulo 5 apresenta sobre o desenvolvimento profissional em e-sports no cenário maricaense. No capítulo 6 o uso de inteligências artificiais generativas com python: fundamentos, aprendizado de máquina, redes neurais clássicas e profundas, transformers e engenharia de prompt para geração de imagens. Já no capítulo 7 é apresentado a integração dos programas de monitoramento ambiental portuário: um estudo na baía da babitonga, SC. No capítulo 8 é realizado um panorama da abordagem biofílica na construção civil brasileira. O desenvolvimento e crescimento de *chrysanthemum paludosum* irrigada com diferentes doses de dejeto líquido suíno é apresentado no capítulo 9. No capítulo 10 encontra-se sobre os sistemas periódicos: princípio de invariância uniforme e no capítulo 10 a busca de parâmetros de um modelo de histerese vetorial utilizando algoritmos genéticos.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem buscando e trabalhando de forma a estimular e incentivar pesquisadores do Brasil e do exterior, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Aos autores, agradeço novamente a confiança e espírito de parceria.

Aos leitores desejo uma excelente leitura.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche.

CAPÍTULO 1	1
UMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA PARA MITIGAR A EVASÃO ACADÊMICA EM CURSOS DE ENGENHARIA PÓS-PANDEMIA	
Marck Douglas Miranda Silva	
Francisca Daniella Andreu Simões Moraes Lage	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527011	
CAPÍTULO 2	12
EFICIENCIA DE LA CAPACITACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS IMPARTIDA PARA EL SECTOR HOTELERO DE VALLADOLID, YUCATÁN	
Delghi Yudire Ruiz Patrón	
Jesús Antonio Santos Tejero	
Carlos Alberto Puch Hau	
José Efraín Ramírez Benítez	
Yanely del Rosario Moo Moo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527012	
CAPÍTULO 3	22
TECNOLOGIA DE CONTENÇÃO: INOVAÇÃO COM ANÉIS HEXAGONAIS E BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS	
Emille Cristine de Castro Lins	
Alisson Cavalcante Lima	
Roberto dos Santos Monteiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527013	
CAPÍTULO 4	36
FLOTACIÓN COLECTIVA PIRITA-ARSENOPIRITA-ORO DE LOS RESIDUOS DE NOCHE BUENA, ZAC., Y SU SEPARACIÓN EN CONCENTRADOS PIRITA- ORO Y ARSENOPIRITA	
Ma. M. Salazar-Hernández	
Ma. del C. Salazar-Hernández	
M. A. Corona-Arroyo	
E. Elorza-Rodríguez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527014	
CAPÍTULO 5	52
DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL EM E- SPORTS NO CENÁRIO MARICAENSE	
Renan Alves de Oliveira	
Douglas Barboza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527015	
CAPÍTULO 6	63
INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS GENERATIVAS COM PYTHON: FUNDAMENTOS, APRENDIZADO DE MÁQUINA, REDES NEURAIS CLÁSSICAS E PROFUNDAS, TRANSFORMERS E ENGENHARIA DE PROMPT	

PARA GERAÇÃO DE IMAGENS

Márcio Mendonça
Guilherme Cyrino Geromel
Fabio Rodrigo Milanez
Angelo Feracin Neto
Marcos Antônio de Matos Laia
Marcos Banheti Rabello Vallim
Vitor Blanc Milani
Marta Rúbia Pereira dos Santos
Vicente de Lima Gongora
Henrique Cavalieri Agonilha
Pedro Henrique Calegari
Andressa Haiduk
Kazuyochi Ota Junior
Gabriel Henrique Oliveira Uliam
Fabio Nogueira de Queiroz
Edinei Aparecido Furquim dos Santos
Francisco de Assis Scannavino Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527016>

CAPÍTULO 7 77**INTEGRAÇÃO DOS PROGRAMAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PORTUÁRIO: UM ESTUDO NA BAÍA DA BABITONGA, SC**

Jéssica Cristine de Mira
Tatiana da Cunha Gomes Leitzke
Paulo Marcondes Bounsfild
Jaqueline Leal Madruga
Therezinha Maria Novais de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527017>

CAPÍTULO 8 101**UM PANORAMA DA ABORDAGEM BIOFÍLICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA**

Paula Scherer

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26424180717>

CAPÍTULO 9 114**DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DE *Chrysanthemum paludosum* IRRIGADA COM DIFERENTES DOSES DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO**

Fátima Cibele Soares
Jumar Luis Russi
Natália Machado do Amaral
Paola da Rosa Lira
Giordana Trindade de Abreu
Carine Brum Duran

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4972527019>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 10.....	122
SISTEMAS PERIÓDICOS: PRINCIPIO DE INVARIANCIA UNIFORME	
Wendhel Raffa Coimbra	
Luís Fernando Alberto Costa	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.49725270110	
CAPÍTULO 11	129
PARAMETER ESTIMATION OF A VECTOR HYSTERESIS MODEL USING GENETIC ALGORITHMS	
Lesly Daiana Barbosa Sobrado	
Filomena Barbosa Rodrigues Mendes	
Jean Viane Leite	
Nelson Jhoe Batistela	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.49725270111	
SOBRE A ORGANIZADORA	144
ÍNDICE REMISSIVO.....	145

CAPÍTULO 1

UMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA PARA MITIGAR A EVASÃO ACADÊMICA EM CURSOS DE ENGENHARIA PÓS-PANDEMIA

Data de submissão: 26/11/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Marck Douglas Miranda Silva

Discente de Engenharia Metalúrgica
Universidade do Estado de Minas Gerais
(UEMG)
João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

Francisca Daniella Andreu Simões Moraes Lage

Mestre em Matemática
Universidade Federal de Ouro Preto
(UFOP) - Profmat
João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

RESUMO: Este projeto foi desenvolvido presencialmente na UEMG- Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade João Monlevade, entre os meses de maio e dezembro de 2022, contando com a adesão de 37 estudantes de distintos cursos de engenharia. A iniciativa teve como objetivo estimular o engajamento dos alunos no processo de aprendizado, enfrentando os desafios acadêmicos ocasionados pela dificuldade de compreensão dos conteúdos abordados em sala de aula, em razão de lacunas provenientes do ciclo básico na disciplina de Matemática, em consequência do aprendizado no período pandêmico da COVID-19. A execução da proposta foi

organizada em quatro etapas. Inicialmente, foi aplicado um questionário de inscrição, que também permitiu mapear as principais dificuldades dos participantes. Em seguida, ocorreu a preparação dos materiais didáticos e a definição dos horários de atendimento. Na terceira fase, o projeto foi implementado de forma prática na unidade, e, por fim, realizou-se uma análise dos dados de satisfação, coletados junto aos alunos e docentes envolvidos. Com essa abordagem, o projeto buscou oferecer suporte acadêmico aos graduandos, visando reduzir as deficiências decorridas da matemática básica e mitigando os impactos educacionais agravados pelo contexto pós-pandemia, que evidenciou e aprofundou fragilidades no desempenho acadêmico dos estudantes.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem, matemática; pandemia; reforço pedagógico.

1 | INTRODUÇÃO

O Artigo 205 da Constituição Federal de 1988 consagra a educação como um direito fundamental de todos e um dever conjunto do Estado e da família, devendo ser promovida com o envolvimento da

sociedade. Seu propósito é assegurar o pleno desenvolvimento do indivíduo, capacitando-o para o exercício da cidadania e preparando-o para o mercado de trabalho. Diante dessa premissa, destaca-se a centralidade da educação na formação do cidadão e na construção de um país mais desenvolvido e de um mundo mais equitativo.

Pelo exposto, para que tal propósito seja alcançado, é essencial garantir um ensino de qualidade, acessível a todas as camadas sociais. Corbucci (2011) enfatiza que a educação é um fator estratégico para impulsionar o desenvolvimento de uma nação. Complementarmente, Rodrigues (2012) defende que a educação é o alicerce de uma sociedade mais justa e igualitária, constituindo o verdadeiro caminho para a construção da cidadania e para o fortalecimento da consciência coletiva.

De acordo com o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), promovido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Brasil apresentou, em sua última avaliação realizada em 2022, resultados baixos e pouco progresso em relação à edição anterior, de 2018. O país ficou abaixo da média global, com uma diferença de 93 pontos na área de matemática, ocupando o 64º lugar (Gráficos 1), e 66 pontos na área de leitura, ficando na 53ª posição.

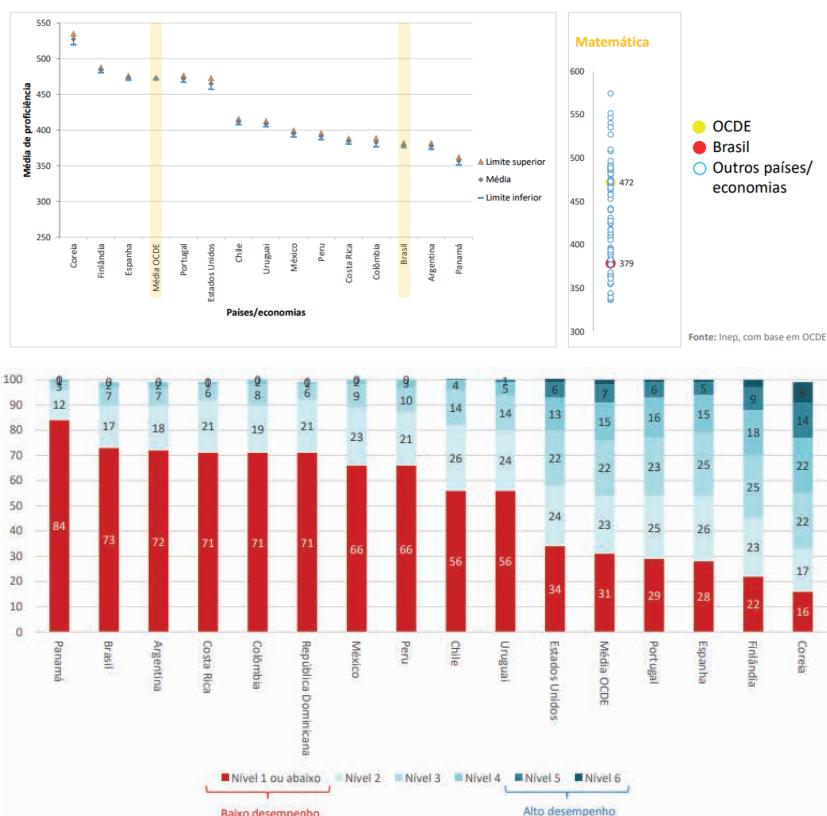


Gráfico 1: Comparação das médias de matemática

Fonte: Inep, com base em OCDE

A análise do Gráfico 1 revela que 73% dos estudantes brasileiros não atingiram o nível básico (nível 2) em Matemática, considerado pela OCDE como o mínimo necessário para o pleno exercício da cidadania. Em contraste, entre os países membros da OCDE, a proporção de alunos no nível 1 ou abaixo foi de 31%. Os estudantes brasileiros não atingiram o nível máximo de proficiência em Matemática.

Esse cenário desfavorável foi agravado por uma série de fatores, como a pandemia de COVID-19, ocorrida entre 2020 e 2022, que levou à transição do ensino presencial para o formato remoto. Além disso, questões como a desigualdade social e educacional ficaram evidenciadas pelos melhores resultados obtidos por estudantes pertencentes às classes sociais mais altas. A combinação desses fatores agravou ainda mais o baixo desempenho educacional no país. Observa-se também um crescente desinteresse por parte dos estudantes, que enfrentam maiores dificuldades na assimilação e aplicação do conhecimento, aprofundando e destacando as lacunas já existentes no sistema educacional.

De acordo com Souza (2008, p. 4), quando se intensifica a análise sobre o rendimento escolar, suas problemáticas e principais alvos, demonstra-se

“que existe um complexo universo de questões institucionais, políticas, individuais, estruturais e de funcionamento presentes na vida diária escolar que conduzem ao seu fracasso, mantendo os altos índices de exclusão, principalmente das crianças e adolescentes das camadas mais pobres de nossa sociedade.”

Diante disso, observa-se um aumento na ocorrência de desafios enfrentados pelas instituições de ensino superior, entre os quais se destaca a evasão escolar. Conforme Morosini et al. (2011), a evasão estudantil é um fenômeno educacional multifacetado que afeta todos os tipos de instituições de ensino. Trata-se da perda de alunos, um problema que gera impactos significativos nas esferas social, acadêmica e econômica, comprometendo, assim, o desenvolvimento humano.

Na Educação Superior, como aponta o autor mencionado, um dos principais fatores que contribuem para a evasão universitária é o elevado índice de reprovações em disciplinas-chave de determinados cursos. Esse problema torna-se especialmente evidente quando as universidades registram um número significativo de desistências nos primeiros períodos das graduações, frequentemente associado às dificuldades enfrentadas em matérias introdutórias, como Cálculo Diferencial e Integral nas Ciências Exatas.

Ante o exposto, para enfrentar essa questão, uma solução eficaz consiste na oferta de programas de reforço acadêmico. Esses programas, por meio de aulas e atividades extracurriculares, priorizam a revisão de conteúdos básicos indispensáveis ao progresso no ensino superior. Essa iniciativa é crucial, considerando que muitos ingressantes chegam às universidades com lacunas substanciais em conhecimentos fundamentais. Lourenzini (2012) destaca que o reforço acadêmico tem como principal objetivo a formalização de ideias e conceitos, facilitando a construção do conhecimento e promovendo a continuidade

dos estudos com maior solidez.

Considerando que as instituições de ensino desempenham um papel essencial na formação da cidadania, inclusão social e desenvolvimento integral do indivíduo, é fundamental que haja uma busca contínua pela excelência educacional. Neste sentido, o tema abordado neste trabalho visa contribuir para o aprimoramento da universidade e o fortalecimento dos discentes. Os objetivos estabelecidos são:

- I. Despertar o interesse dos alunos pelo aprendizado, enfrentando a frustração acadêmica causada pela dificuldade de compreensão dos conteúdos abordados em sala de aula;
- II. Auxiliar os estudantes de graduação na consolidação de conceitos, promovendo o reforço do conhecimento por meio de encontros gratuitos focados em Matemática;
- III. Potencializar o trabalho dos monitores, com atividades voltadas para a revisão de conceitos fundamentais, essenciais para o sucesso acadêmico;
- IV. Reduzir a evasão escolar, associada às altas taxas de reprovação nas disciplinas fundamentais dos cursos de engenharia, contribuindo para a recuperação da autoestima dos alunos;
- V. Mitigar o impacto das lacunas no conhecimento básico, evitando que essas deficiências prejudiquem o aprendizado de conteúdos mais avançados;
- VI. Promover aulas de revisão intensivas (“aulões”), especialmente antes das avaliações, proporcionando aos alunos uma maior confiança e domínio dos temas abordados.

Essa proposta visa fortalecer o compromisso da universidade com a formação acadêmica de qualidade, ao mesmo tempo em que oferece suporte efetivo aos estudantes, contribuindo para sua plena capacitação e sucesso educacional.

Por fim, conclui-se que a temática discutida é de fundamental importância para a comunidade acadêmica, pois destaca a necessidade urgente de apoio aos discentes. Ao focar nas dificuldades de matemática básica enfrentadas pelos alunos, busca-se mitigar os desafios nas disciplinas dos cursos de engenharia, contribuindo para a melhoria do desempenho acadêmico. Isso, por sua vez, resulta na redução da evasão nos cursos de engenharia da unidade envolvida, além de promover o resgate da convivência social e da autoestima dos estudantes, por meio da troca de experiências e do aprendizado de forma mais leve e colaborativa.

2 | METODOLOGIA

Metodologicamente, este estudo se configura como uma pesquisa aplicada, adotando a abordagem de pesquisa-ação. Nesse contexto, o Projeto funcionou como uma intervenção prática para enfrentar a problemática da evasão escolar e do desinteresse dos

discentes dentro da universidade. De acordo com Nunan (1993), esse tipo de pesquisa promove o desenvolvimento profissional “de dentro para fora”, pois parte das questões e interesses dos participantes, envolvendo-os ativamente em seu próprio processo de desenvolvimento.

A metodologia do projeto foi organizada em quatro etapas, conforme ilustrado no fluxograma a seguir:



Fluxograma 1: Etapas do Projeto

Fonte: Autor próprio.

2.1 Cadastro dos discentes e reunião com os docentes

Na primeira etapa, a divulgação do Projeto foi realizada por meio de canais online, com a distribuição de informações nos grupos de WhatsApp dos cursos oferecidos pela instituição, além da fixação de flyers (Figura 1) nos quadros de avisos da faculdade. A estratégia também incluiu o uso de networking, visando ampliar o alcance e incentivar o interesse dos discentes. Adicionalmente, foi criado um formulário no Google Forms para gerenciar as inscrições e coletar dados sobre as principais dificuldades dos alunos,

permitindo-lhes sugerir as disciplinas que consideravam mais importantes para serem abordadas no projeto.

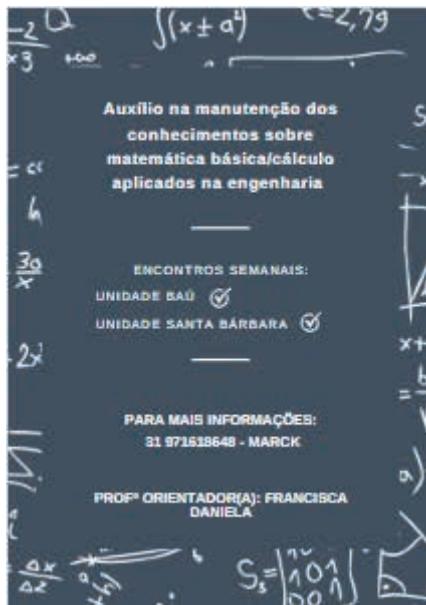


Figura 1: Flyer do projeto

Fonte: Autor próprio.

2.2 Planejamento e Estruturação dos Encontros

Posteriormente, concluída a etapa anterior, e com os dados obtidos, foram confeccionados materiais explicativos (Figura 2) e listas de exercícios sobre os conteúdos selecionados, sendo:



Figura 2: Exemplares de matérias lecionadas

Fonte: Autor próprio.

Além disso, nesta fase, foi elaborado o cronograma de atendimento (Tabela 1) do Projeto, que levou em consideração a disponibilidade tanto dos responsáveis pela execução do projeto quanto dos discentes inscritos.

Horários Projeto		
Horários	Quarta- feira	Quinta-feira
07:00 – 07:50	-	Proj. Ext. - Baú
07:50 – 08:40	-	Proj. Ext. - Baú
08:55 – 09:45	-	Proj. Ext. - Baú
09:45 – 10:35	-	Proj. Ext. - Baú
10:35 – 11:25	Proj. Ext. – Santa B.	Proj. Ext. - Baú
11:25 – 12:15	Proj. Ext. – Santa B.	Proj. Ext. - Baú
12:15 – 13:00	Proj. Ext. – Santa B.	-
13:00 – 13:50	Proj. Ext. – Santa B.	-
13:50 – 14:40	Proj. Ext. – Santa B.	-
14:40 - 15:30	Proj. Ext. – Santa B.	-
15:40 - 16:30	Proj. Ext. – Santa B.	-

Tabela 1: Horário de atendimento do Projeto

Fonte: Autor próprio.

Conforme indicado na tabela acima, o projeto foi realizado presencialmente às quartas e quintas-feiras, com dois locais de atendimento, a fim de garantir o maior alcance possível aos discentes.

2.3 Implementação do Projeto

Na terceira etapa, com todas as preparações finalizadas, iniciou-se o atendimento presencial do Projeto, realizado semanalmente nas duas unidades da Universidade do Estado de Minas Gerais em João Monlevade, localizadas nos bairros Baú e Santa Bárbara. Essa estrutura visou oferecer aos alunos inscritos maior acessibilidade e oportunidade de participação.

A seguir, apresentam-se as plataformas gratuitas utilizadas, que auxiliaram no desenvolvimento do projeto:

- **Microsoft Teams** – Foi criada uma equipe específica para o Projeto, que serviu como meio de comunicação e divulgação de informações e materiais. Além disso, em alguns casos, foram realizados atendimentos virtuais.
- **WhatsApp** – Utilizado para criar um grupo com os participantes do projeto e sua orientadora, permitindo a divulgação de informações e o envio de materiais de forma rápida e acessível.
- **Microsoft Forms** – Plataforma disponível através do e-mail institucional dos discentes da Universidade, utilizada para a criação de formulários de inscrição e feedback.

- **Geogebra** – Software gratuito que combinou conceitos de geometria e álgebra em um único ambiente. Foi utilizado especialmente para o ensino de construção gráfica, permitindo a criação de gráficos e a análise das translações, como variações vertical e horizontal das funções.
- **Photomath** – Aplicativo gratuito focado em álgebra, utilizado para ajudar os discentes a visualizarem melhor exercícios matemáticos complexos.

Importante destacar que, durante o Projeto, ocorreu uma colaboração com os monitores das disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral I e II. Essa parceria resultou na realização de um minicurso sobre construção gráfica para os discentes, ressaltando a importância da matemática básica para o entendimento dos cálculos avançados. Essa ação despertou o interesse de vários alunos que ainda não estavam inscritos no projeto, levando-os a se inscreverem, ao perceberem a relevância do conhecimento compartilhado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No dia 25 de novembro de 2022, o Projeto foi apresentado no 24º Seminário de Pesquisa e Extensão (P&E/UEMG), realizado de forma online. O evento teve como objetivo promover a exposição de pesquisas e programas extensionistas desenvolvidos na Universidade, além de incentivar a troca e o compartilhamento de conhecimentos, estimulando a investigação científica e a produção acadêmica. Também buscou ampliar a divulgação do conhecimento produzido na UEMG, fortalecendo sua interlocução com outras instituições de ensino superior.

Durante a apresentação, foram discutidos os dados coletados até aquele momento, que incluíam um total de 37 discentes inscritos no projeto, distribuídos entre os diversos cursos oferecidos pela unidade. A seguir, apresenta-se o respectivo gráfico 2, que sintetiza esse dado coletado.

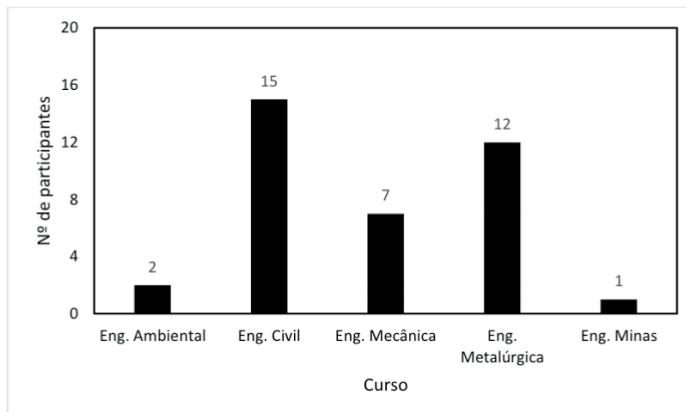


Gráfico 2 - Inscritos por curso no Projeto

Fonte: Autor próprio.

Tendo em vista o calendário do ano de 2022 da UEMG, o Projeto esteve presente nos períodos 01/2022 completo e em uma parte do 02/2022, pois o de acordo com o edital de vigência do Projeto, o programa finalizaria até trinta e um de dezembro de dois mil e vinte e dois, e o presente período (02/2022), se encerrou no final de fevereiro de dois mil e vinte três. Assim, obteve-se os seguintes resultados no período 01/22.

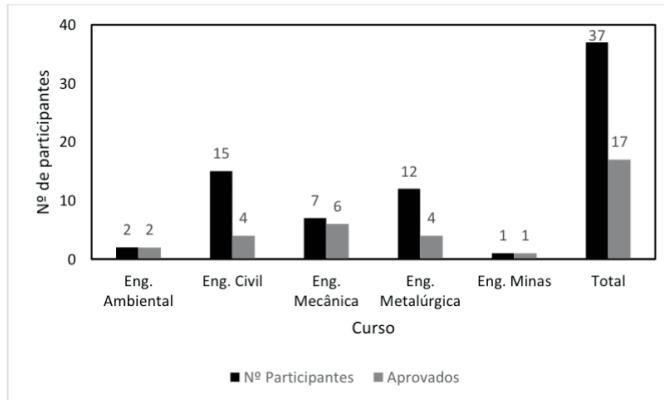


Gráfico 3: Aprovados em Cálculo no período 01/2022

Fonte: Autor próprio.

Com base nos dados apresentados, Gráfico 3, verifica-se que 17 dos 37 discentes inscritos no Projeto (45,9%) obtiveram aprovação durante a vigência do projeto, abrangendo o período 01/2022 e a primeira metade de 02/2022.

É importante destacar que o número de aprovações cresceu consideravelmente. Uma análise mais ampla, realizada ao final do período 02/2022, revelou que, entre os alunos atendidos e que responderam ao questionário de aprovação, o percentual combinado de aprovados nos dois períodos de 2022 atingiu 70,27% dos inscritos no Projeto (Gráfico 4).

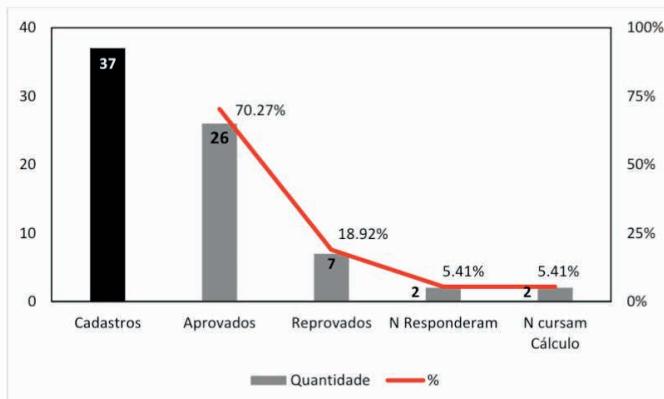


Gráfico 4: Relação entre inscritos, aprovados e reprovados no Projeto 2022

Fonte: Autor próprio.

A partir da análise do gráfico acima, nota-se que os alunos participantes tiveram considerável desempenho nas disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral I e II.

4 | CONCLUSÃO

Este projeto teve como objetivo resgatar o interesse e o engajamento dos discentes nos estudos, por meio de um reforço pedagógico gratuito, oferecido presencialmente na Faculdade de Engenharia, Unidade João Monlevade, ao longo do ano de 2022. A iniciativa buscou mitigar a evasão escolar decorrente da dificuldade de compreensão dos conteúdos ministrados em sala de aula, muitas vezes relacionadas ao déficit de aprendizagem oriundo do ciclo básico em Matemática.

Os encontros, realizados semanalmente e compostos por apresentações e atividades práticas, evidenciaram que os estudantes enfrentavam, de fato, dificuldades significativas em disciplinas fundamentais do ciclo básico. Essas lacunas, por sua vez, comprometeram o progresso nas matérias subsequentes, tornando-se um obstáculo a ser superado.

Dessa forma, conclui-se que o projeto uma abordagem pedagógica para mitigar a evasão acadêmica em cursos de engenharia pós-pandemia, após sua implementação na instituição piloto, apresentou resultados expressivos no aumento das taxas de aprovação e, consequentemente, no desempenho acadêmico dos estudantes participantes. Esse progresso reforça a importância do reforço pedagógico e da revisão de conteúdos fundamentais como estratégia para consolidar a base de conhecimento necessária para o avanço acadêmico.

Adicionalmente, destaca-se que a combinação entre a eficácia do projeto e o comprometimento dos discentes favoreceu a inclusão de novos participantes, ampliando o alcance da iniciativa. O projeto, assim, desempenha um papel essencial na reparação de falhas do ciclo básico, preparando os alunos de forma mais eficiente para superar os desafios acadêmicos impostos pelas disciplinas universitárias.

Por fim, a relevância e originalidade do Projeto são justificadas por sua contribuição no enfrentamento das defasagens educacionais dos estudantes de engenharia, auxiliando no desenvolvimento acadêmico e profissional desses discentes dentro da instituição. Nesse sentido, a reflexão proposta por Paulo Freire torna-se especialmente pertinente: “Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção” (FREIRE, 1998, p. 25). Diante dos resultados alcançados, é gratificante observar os discentes superando as barreiras impostas pela vida acadêmica, reafirmando a importância e o impacto do projeto na comunidade universitária.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

CORBUCCI, Paulo Roberto. **Dimensões estratégicas e limites do papel da educação para o desenvolvimento brasileiro.** Revista Brasileira de Educação: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, v. 48, n. 16, p.563-807, set. 2011.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia.** São Paulo: Editora Paz e Terra, 1997.

Inep (2023). **Programa Internacional de Avaliação de Estudantes.** PISA 2022. 5 de dezembro de 2023 < <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/pisa/resultados> > . Acesso em: 05 fev 2024

MOROSINI, Marília Costa; CASARTELLI, Alam de Oliveira; SILVA, Ana Cristina Benso da; SANTOS, Bettina Steren dos; SCHMITT, Rafael Eduardo; GESSINGER, Rosana Maria. In: **Congresso CLABES I.** Managua, 2011.

NUNAN, D. **Action research in language education.** In: EDGE, J.; RICHARDS, K. (Ed.). Teachers develop teachers research. Papers on classroom research and teacher development. Oxford: Heinemann, 1993. p. 41.

OCDE (2023), Resultados do PISA 2022 (Volume I): **O estado da aprendizagem e da equidade na educação** , PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/53f23881-en> . Acesso em: 05 fev 2024

OECD (2019), PISA 2018 Results (Volume I): **What Students Know and Can Do**, PISA, OECD Publishing, Paris, <<https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>> Acesso em: 01 fev. 2023.

OECD (2019), PISA 2018 Results (Volume III): **What School Life Means for Students' Lives**, PISA, OECD Publishing, Paris, <<https://doi.org/10.1787/acd78851-en>> Acesso em: 01 fev. 2023.

Souza, M. P. R. (2010). **Retornando à patologia para justificar a não aprendizagem escolar: a medicalização e o diagnóstico de transtornos de aprendizagem em tempos de neoliberalismo.** In Conselho Regional de Psicologia de São Paulo; Grupo Interinstitucional Queixa Escolar (Org.), *Medicalização de crianças e adolescentes: conflitos silenciados pela redução de questões sociais em problemas individuais* (pp. 57-67). São Paulo: Casa do Psicólogo.

CAPÍTULO 2

EFICIENCIA DE LA CAPACITACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS IMPARTIDA PARA EL SECTOR HOTELERO DE VALLADOLID, YUCATÁN

Data de submissão: 06/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Delghi Yudire Ruiz Patrón

Dra. Tecnológico Nacional de México/
Instituto Tecnológico Superior de
Valladolid/ Ingeniería Ambiental
Valladolid- Yucatán, México
ORCID: 0000-0001-8864-7615

Yanely del Rosario Moo Moo

Tecnológico Nacional de México/ Instituto
Tecnológico Superior de Valladolid/
Ingeniería Ambiental
Valladolid- Yucatán, México
ORCID: 0009-0009-3145-3428

Jesús Antonio Santos Tejero

Dr. Tecnológico Nacional de México/
Instituto Tecnológico Superior de
Valladolid/ Ingeniería en Sistemas
Computacionales
Valladolid- Yucatán, México
ORCID: 0000-0002-9482-8225

Carlos Alberto Puch Hau

Dr. Tecnológico Nacional de México/
Instituto Tecnológico Superior de
Valladolid/ Ingeniería Ambiental
Valladolid- Yucatán, México
ORCID: 0000-0001-7231-4031

José Efraín Ramírez Benítez

Dr. Universidad Autónoma de Campeche/
Facultad de Ciencias Químico Biológicas
Campeche-Campeche, México
ORCID: 0000-0001-6600-5865

RESUMEN: La rápida urbanización que se observa en los países en desarrollo, como es el caso de México, ha dado lugar a un aumento considerable en la generación de desechos sólidos urbanos (RSU). Es por ello que, los programas de capacitación a nivel sistemático y específico, podrían incentivar a la ciudadanía para la reducción de RSU, promoviendo iniciativas de reciclaje y estrategias de capitalización. El objetivo del presente trabajo, se enfoca en la capacitación de un plan de manejo de RSU para el personal hotelero de la ciudad de Valladolid, Yucatán, México. Esta ciudad se caracteriza por contar con una amplia oferta de hospedaje. Para este trabajo, se seleccionaron cinco establecimientos, incluyendo tres hostales (Tunich Naj, casa San Roque y posada San Juan) y dos hoteles (Hacienda Sánchez y cabañas Suytun). Los resultados de este trabajo

mostraron una mejora significativa en el nivel de conocimiento de los colaboradores, lo que evidencia un impacto positivo de esta capacitación y una reducción potencial de los residuos que se generan en este sector.

PALABRAS CLAVE: Capacitación, RSU, Reciclaje, turismo sostenible.

EFFICIENCY OF URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT TRAINING GIVEN FOR THE HOTEL SECTOR OF VALLADOLID, YUCATAN

ABSTRACT: Rapid urbanization in developing countries, such as Mexico, has led to a significant increase in the generation of municipal solid waste (MSW). This is why, training programs at a systematic and specific level could encourage citizenship for the reduction of MSW, promoting recycling initiatives and capitalization strategies. The objective of this work is to train a MSW management plan for hotel staff in the city of Valladolid, Yucatan, Mexico. The city is characterized by having a wide offer of lodging. For this work, five establishments were selected, including three hostels (Tunich Naj, casa San Roque and posada San Juan) and two hotels (Hacienda Sánchez and cabañas Suytun). The results of this work showed a significant improvement in the level of knowledge of the collaborators, which shows a positive impact of this training and a potential reduction of waste generated in this sector.

KEYWORDS: Training, MSW, Recycling, sustainable tourism.

INTRODUCCIÓN

El tema de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) actualmente constituye una de las mayores preocupaciones de las sociedades contemporáneas y un desafío mundial para la gestión pública según la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2006). Pues su creciente aumento se encuentra relacionado directamente al crecimiento demográfico, la concentración en áreas urbanas o metropolitanas, los procesos productivos que no han logrado cumplir con la normatividad ambiental y un modelo económico que tiene efectos negativos en los hábitos de consumo de la población (De valle, 2005).

En México, al igual de muchos otros países, trascendió de lo rural a lo urbano. Si bien, aunque esto trajo consigo una serie de impactos positivos como el desarrollo de las ciudades, la generación de nuevos empleos, servicios, y una mejora en la economía del país, de igual forma, modificó los patrones de consumo de la sociedad, pues en base a la Secretaría de Desarrollo Social (2011) pasó así de generar residuos orgánicos, a producir principalmente residuos inorgánicos derivados de los patrones de consumo típicos de sociedades industriales urbanas. Ya que, en general se reconoce que éste se acompaña por un mayor incremento del poder adquisitivo de la población, que conlleva a estándares de vida con altos niveles de consumo de bienes y servicios, lo que produce un mayor volumen de residuos. De acuerdo al quinto informe de gobierno emitido por la presidencia de la República (2017) tan solo en la década de los años 50, el porcentaje de generación de los residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para el 2017 esta cifra se redujo a 51.6%.

Así pues, el incremento de la generación de residuos inorgánicos, y en general, de RSU, conlleva a la aparición de múltiples problemas ambientales, sociales y económicos; por los cuales, México, se enfrenta actualmente. La saturación de rellenos sanitarios y el manejo inadecuado de los residuos son algunos de ellos. Es por ello que, en los últimos años algunos países de América Latina han involucrado la gestión de los residuos sólidos urbanos en su agenda política. Para lo cual, han planteado un conjunto de directrices y normativas que buscan cambiar la actitud de todos los miembros de la comunidad, reducir la cantidad generada de estos residuos y mitigar la presión sobre el medioambiente (Sánchez, Cruz, & Maldonado, 2019).

Un ejemplo de ello, es el diseño e implementación de planes específicos para la gestión de residuos sólidos urbanos en las ciudades y comunidades de México, o de igual forma, la exigencia de dichos planes hacia empresas u organizaciones generadoras de grandes cantidades de residuos sólidos urbanos. Esta medida enmarcada en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (principal herramienta normativa en materia de gestión de residuos en México) promueve prácticas que reduzcan la cantidad de residuos generados desde su origen o destinados al relleno sanitario, fomentando el consumo responsable, promoviendo la educación ambiental e impulsando la ejecución de estrategias sostenibles como la reutilización, aprovechamiento, valorización y reciclaje de residuos generados.

Valladolid es un municipio ubicado en el oriente del estado de Yucatán, el cual en los últimos años se ha desarrollado gradualmente debido su gran riqueza natural, cultural y social, esto lo ha convertido en un atractivo punto de estancia para turistas tanto nacionales como internacionales, por lo cual, a diario son cientos las personas que se establecen en los sitios de hospedaje de la ciudad. No obstante, este incremento en el número residentes ha impactado en el aumento de la generación de los residuos sólidos, pues como menciona Giusti (2009) el crecimiento poblacional se relaciona directamente con la generación de Residuos Sólidos Urbanos, ya que mientras más población exista, mayor serán las necesidades que demanden. Es por ello que, ante esta problemática, en este trabajo se tiene por objetivo capacitar de forma teórica y práctica a los hoteles con respecto a la implementación del plan de manejo de RSU y temas importantes relacionados a la gestión de residuos.

MARCO TEÓRICO

De acuerdo a Betancourt, Pichs, & Rodríguez (2004), la generación de residuos es un factor inevitable de las actividades que realiza una organización, sin embargo, resulta crucial su tratamiento y disposición final para la protección de la naturaleza y las sociedades presentes y futuras. Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, el manejo adecuado de los residuos en las etapas que siguen a su generación permite

mitigar sus impactos negativos sobre el ambiente y la salud, además de que reduce la presión sobre los recursos naturales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2016).

Por tal motivo, el desempeño ambiental de una organización es de vital importancia para las partes interesadas internas y externas. El logro de un desempeño ambiental razonable requiere de un compromiso de la organización, para un enfoque sistemático en su Sistema de Gestión Ambiental (Werner, 2002). Con respecto a lo anterior, las capacitaciones son clave fundamental para la mejora continua de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), ya que permiten a los colaboradores adquirir conocimientos y habilidades necesarias para implementar prácticas sostenibles de manera efectiva.

Asimismo, la formación regular ayuda a comprender y aplicar correctamente las políticas y procedimientos del SGA, promoviendo una cultura organizacional orientada hacia la sostenibilidad. Sin embargo, hoy por hoy, en México, debido a factores como la falta de recursos, de prioridad ambiental y capacidad técnica, las capacitaciones ambientales enfrentan retos significativos que se ven traducidos en un escaso conocimiento y comprensión sobre prácticas sostenibles en diversas organizaciones, lo cual limita la implementación efectiva de iniciativas. Esto puede verse reflejado en el estudio llevado a cabo por Calleja (2013), donde el autor realiza un análisis sobre la funcionalidad de los sistemas que en la actualidad cuentan para el manejo de desechos sólidos y líquidos en los hoteles de la Ciudad de Poza Rica, Veracruz. Los resultados obtenidos destacan que, la falta de asesorías son un aspecto limitante para la mejora de los desechos en el establecimiento (Figura 1), por lo cual los colaboradores demandan mayor información y capacitación (87.23%) para contribuir correctamente en cada una de las actividades relacionadas con el cuidado del ambiente.

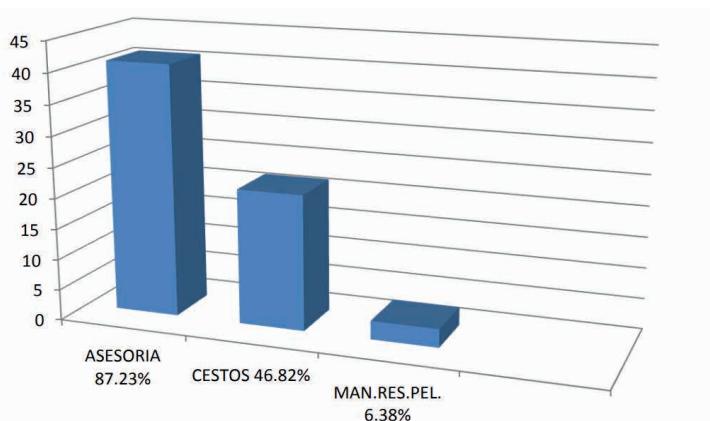


Figura 1 - Medidas necesarias para la mejora del manejo de residuos sólidos y líquidos en los hoteles de Poza Rica, Veracruz.

Nota: Elaborado por Calleja (Manejo de desechos sólidos y líquidos en los hoteles de Poza Rica, Veracruz, 2013)

METODOLOGÍA

Si bien, hoy por hoy, con más de 200 sitios de alojamiento, el sector hotelero es predominante en la ciudad de Valladolid, Yucatán. La oferta de hospedaje es amplia y diversa, pues abarca desde pequeños hostales económicos hasta hoteles boutique y resorts de lujo. Esta variedad ha permitido la satisfacer las necesidades de distintos tipos de viajeros, y, por tanto, atraer cada vez más el público foráneo. En este contexto, es indispensable hacer mención de la Asociación de Hoteles y Hostales de Valladolid, un grupo formal y organizado, conformado por aproximadamente 34 de hoteles del municipio, y con los cuales se trabajó con una muestra de cinco establecimientos en el presente proyecto. Estos incluyen desde hostales (como lo son Tunich Naj, casa San Roque y posada San Juan) hasta hoteles con un mayor número de habitaciones (Hacienda Sánchez y cabañas Suytun), lo que hace de la muestra una verdadera representación del sector. Por su parte, la presente investigación es de tipo aplicada ya que está enfocada en la búsqueda y aplicación de conocimientos para obtener nuevos a partir de la implementación y sistematización de la práctica basada en investigación que, en este caso, es la aplicación de diversas técnicas de gestión de RSU. Además, es de tipo transversal, pues las capacitaciones impartidas fueron llevadas a cabo durante el periodo de agosto-septiembre del 2024. Estas abarcaron una serie de temas relacionados al manejo de los residuos sólidos en los hoteles, así como la práctica de estrategias de minimización de residuos. Para lo cual se diseñaron instrumentos que permitieron una mejor organización y desenlace de los módulos expuestos durante las semanas de capacitación (Véase en https://drive.google.com/drive/folders/1iV8loatejUaVPhEPMtxvpR9bTHTKc40?usp=drive_link). Asimismo, al finalizar dichas capacitaciones, los colaboradores de cada uno de los establecimientos fueron evaluados mediante exámenes de conocimientos (los cuales se encuentran en la liga anterior), pero de igual forma, calificaron el desempeño de los instructores, y del curso en general. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

RESULTADOS

El examen diagnóstico fue aplicado en cinco hoteles con el fin de conocer el nivel de conocimiento de su personal sobre el tema de residuos. En la Figura 2 se expresan los promedios del personal de cada hotel, en una escala del 1 al 10, donde 1 indica un nivel bajo de conocimiento y 10 un nivel alto. Como es de observarse, las calificaciones se encuentran por debajo de la media, por lo cual se deduce que el personal de cada uno de los hoteles quizá aún no se encuentra muy bien informado con respecto a temas relacionados con la gestión de residuos, y por tanto, requieren de una mayor atención durante el periodo de capacitación.

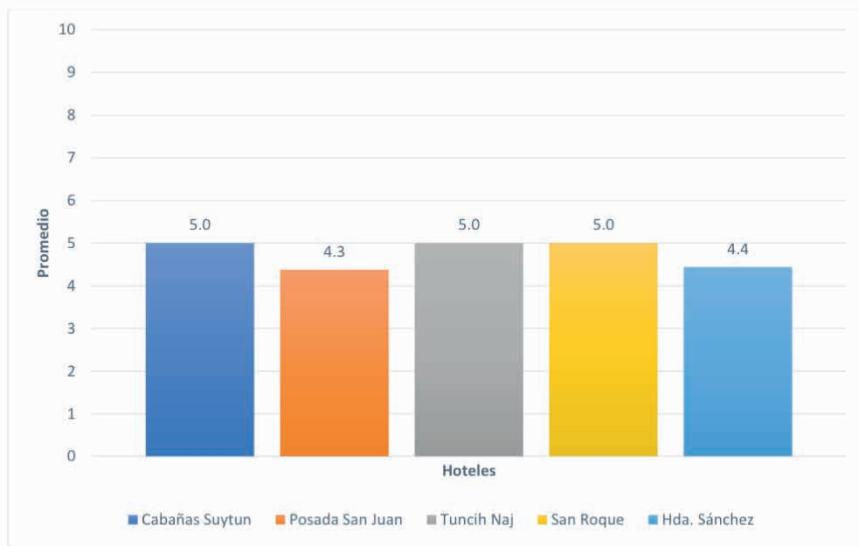


Figura 2 - Calificación promedio de cada hotel ante la evaluación diagnóstica aplicada

Nota: Elaboración propia.

Posterior a la capacitación impartida se aplicó de igual forma una evaluación final de conocimientos obtenidos, los resultados se presentan en la Figura 3. Como puede observarse, el rango de calificaciones promedio es variante, siendo así 8 la calificación más alta perteneciente al hotel Cabañas Suytun, y 6.1 las más baja. A pesar de que las puntuaciones no son tan elevadas, todas superan la media, lo cual indica que, todos los colaboradores, por lo menos, adquirieron más de un 60% de aprendizaje. Además, realizando una comparación con los resultados obtenidos de la evaluación inicial (Figura 2) puede apreciarse una notoria diferencia, pues pasaron de tener puntuaciones relativamente bajas a puntuaciones muy buenas considerando que para los colaboradores el tema del manejo y gestión de los residuos es una cuestión nueva.

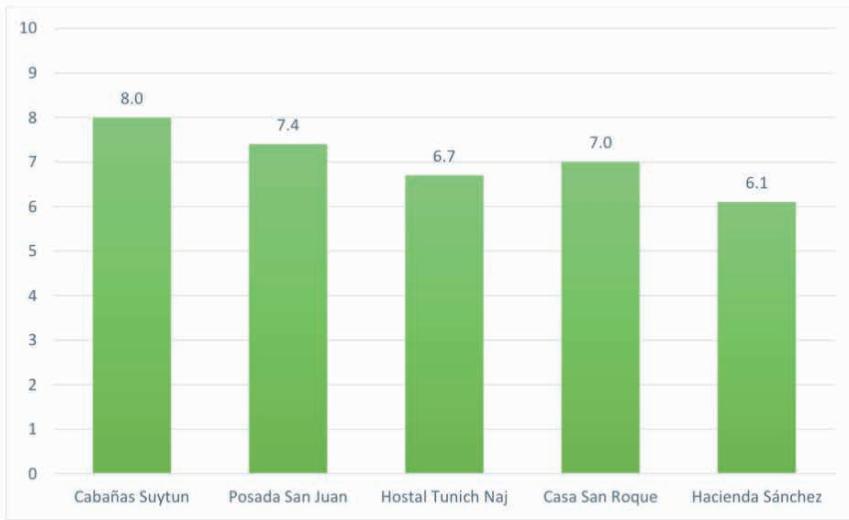


Figura 3 - Calificaciones promedio de cada hotel ante la evaluación final aplicada.

Nota: Elaboración propia.

Asimismo, cabe destacar que, la evaluación final de conocimientos se integró por un total de 10 preguntas, las cuales fueron distribuidas en cuatro secciones, empezando por la número uno “Manejo de los RSU en los hoteles” con un valor de 3 puntos sobre 10; Seguidamente la sección dos se denominó “Minimización de RSU” de igual forma con un valor de 3 de 10; por consiguiente, la sección tres y cuatro que llevan por título “Compostaje” y “Valorización de RSU” respectivamente, se detonaron en 2 puntos sobre 10, ambos.

En la Figura 4 se muestran las puntuaciones obtenidas por sección en cada uno de los hoteles participantes. En donde, a simple vista puede observarse que las secciones 1 y 2 fueron las mejores evaluadas en todos los hoteles, pues en su mayoría se alcanzaron puntajes mínimo de 2 sobre 3, es decir un 67% de aprendizaje en la sección. Quizá esto se deba a que la mayoría de las preguntas fueron abiertas y por tanto, existió una mayor facilidad para los colaboradores de expresarse, contrario a lo que sucedió en las secciones 3 y 4, las cuales tuvieron menor índice de respuesta.

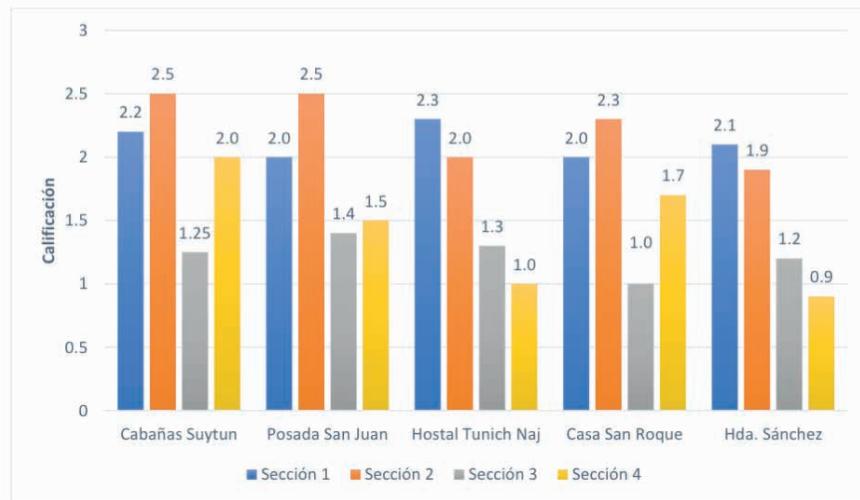


Figura 2- Puntuaciones promedio obtenidos por sección en la evaluación final aplicada

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la capacitación impartida en los hoteles durante el periodo agosto-septiembre (Figura 5). Como es de observarse, los colaboradores han calificado la capacitación como exitosa, puesto que las puntuaciones se encuentran por encima de 90 puntos sobre 100. Este dato es de suma importancia, ya que el personal capacitado evaluó diversos aspectos que involucran desde la aptitud del instructor, la calidad del material didáctico hasta la eficiencia del curso, lo que indica un nivel de satisfacción bastante bueno basado en una valoración completa (Figura 36).

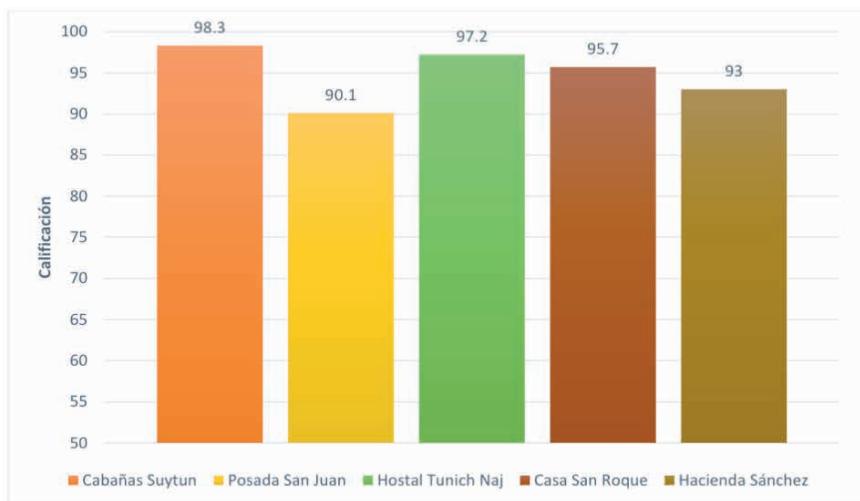


Figura 3- Evaluación del curso de capacitación impartido en los hoteles participantes

Nota: Elaboración propia.

Analizando la información presentada en la Figura 6, los promedios generales de las tres secciones evaluadas corresponden a 9.5, 9.7 y 9.4 con respecto al orden señalado en el interior de dicha gráfica. Esto significa que, de acuerdo a la opinión de los colaboradores la habilidad del instructor para impartir la capacitación fue bastante buena debido a su dominio del tema, el fomento a la participación, la aplicación de valuaciones, etc. Asimismo, consideran que, el material didáctico fue un elemento clave, pues la organización, legibilidad, claridad y la variedad de ejemplos lograron captar su atención y entender de una manera mucho más sencilla los temas impartidos. Con los aspectos anteriores muy bien evaluados, el curso cumplió en casi su totalidad con las expectativas del personal capacitado, aunque estos reconocieron que el material didáctico sin duda fue la principal base para el éxito de la capacitación.

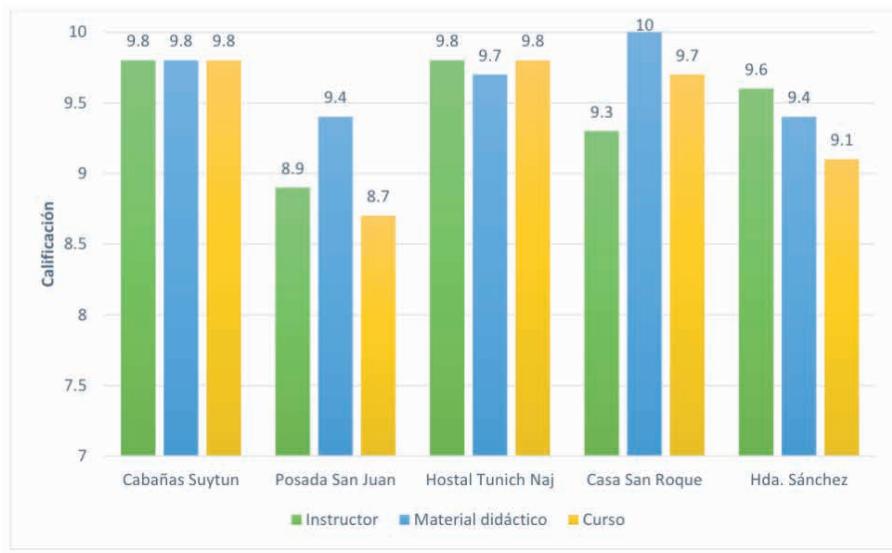


Figura 4- Evaluación por secciones de la capacitación impartida en los hoteles participantes

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Sin lugar a dudas, la capacitación es un paso fundamental para la aplicación de cualquier nuevo procedimiento en los establecimientos, pues prepara al personal de manera paulatina. En el caso de la capacitación impartida durante el presente periodo de realización del proyecto, se ofrecieron a los colaboradores las herramientas y conocimientos necesarios para comprender la importancia de un adecuado manejo de residuos en sus hoteles. Al entender los conceptos detrás de la minimización, reutilización, reciclaje y valorización, los trabajadores pudieron comprender la importancia de adoptar mejores prácticas desde su área de trabajo, lo que reforzó su compromiso ambiental en el hotel y la mejora la gestión

de residuos en general.

Los resultados obtenidos, reflejados en las evaluaciones aplicadas, muestran una clara mejora en el nivel de conocimientos de los colaboradores, lo que evidencia el impacto positivo de la capacitación. Los trabajadores calificaron la experiencia como un éxito, lo que no solo confirma la calidad del contenido impartido, sino también la receptividad y disposición del personal para aplicar los nuevos aprendizajes. Este éxito es clave para garantizar que el plan de manejo de RSU se implemente con eficacia, ya que el personal capacitado será capaz de tomar decisiones más informadas y contribuir de manera proactiva al cumplimiento de los objetivos ambientales del hotel.

REFERENCIAS

- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). (2006). *Directrices para la Gestión Integrada y Sostenible de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe*. Sao Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Betancourt, P. L., Pichs, H. L., & Rodríguez, K. (2004). Gestión ambiental empresarial. metodología para la realización de una revisión medio ambiental. *Revista científica de las energías, Habana Cuba*.
- Calleja, G. J. (2013). *Manejo de los desechos sólidos y líquidos en los hoteles de Poza Rica, Veracruz*. Tuxpan, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- De valle, d. B. (2005). *La Gestión Integral Sustentable de residuos sólidos urbanos: Diagnóstico y evaluación para la ciudad de Saltillo, Coahuila*. México, DF: El Colegio de México.
- Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*.
- Presidencia de la República. (2017). *5to. Informe de Gobierno*. México: Presidencia de la República.
- Sánchez, M. M., Cruz, C. J., & Maldonado, E. P. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista de Finanzas y política Económica*.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2011). *Estado de las Ciudades de México*. México: Secretaría de Desarrollo Social-Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, ONU-HABITAT .
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). *Informe de Medio Ambiente*. México.
- Werner, E. (2002). *Alcance, implicaciones y beneficios de un sistema de gestión medioambiental ISO 14001. Ordenación del territorio y medio ambiente del gobierno vasco y sociedad pública de gestión ambiental*. Bilbao, España.

CAPÍTULO 3

TECNOLOGIA DE CONTENÇÃO: INOVAÇÃO COM ANÉIS HEXAGONAIS E BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS

Data de submissão: 14/11/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Emille Cristine de Castro Lins

Centro Universitário Mario Pontes Jucá -
UMJ | Maceió | Brasil

Alisson Cavalcante Lima

Centro Universitário Mario Pontes Jucá -
UMJ | Maceió | Brasil

Roberto dos Santos Monteiro

Centro Universitário Mario Pontes Jucá |
Maceió | Brasil

RESUMO: O presente artigo tem como objetivo apresentar a tecnologia de contenção da erosão marítima utilizada na orla de Maceió, aplicando a metodologia holandesa com uso de blocos maciços e anéis hexagonais de concreto pré-moldado, sem o uso de ferragens. A cidade de Maceió vem sofrendo destruições pelo avanço do mar sobre o continente. Esse problema vem se agravando devido ao déficit sedimentar causado pela erosão marítima bem como por fortes variações meteorológicas que tem causado frequentes ressacas do mar e acarretando as destruições de infraestruturas urbanísticas, além da perda de vegetação devido a ações antrópicas ao longo da costa. Diante desse cenário,

foram desenvolvidos estudos de possíveis abordagens para minimizar os impactos da erosão marítima e conter o avanço do mar, com isso, algumas metodologias foram utilizadas, como o uso de gabião, enrocamento com pedra granilítica, muros de arrimo, bagwall, sandbag, e agora a intervenção da contenção costeira através da aplicação de elementos em concreto em forma de anéis hexagonais e blocos maciços. A abordagem inovadora que envolve a utilização de anéis hexagonais e blocos maciços como parte das medidas de contenção costeira oferece uma perspectiva promissora. Os anéis hexagonais, devido à sua forma geométrica única, podem dissipar a energia das ondas de maneira eficiente, reduzindo assim a força de impacto na costa. Por outro lado, os blocos maciços atuam como barreiras físicas, desacelerando a erosão e protegendo o solo costeiro. A abordagem de contenção costeira com anéis hexagonais e blocos maciços é uma estratégia inovadora e multifacetada para enfrentar o problema da erosão costeira na orla de Maceió.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção marítima. Anéis hexagonais. Blocos maciços. Erosão costeira.

CONTAINMENT TECHNOLOGY: INNOVATION WITH HEXAGONAL RINGS AND PRECAST CONCRETE BLOCKS

ABSTRACT: This article aims to present the maritime erosion containment technology used on the coast of Maceió, applying the Dutch methodology using solid blocks and pre-cast concrete hexagonal rings, without the use of hardware. The city of Maceió has been suffering destruction due to the advance of the sea over the continent. This problem has been worsening due to the sediment deficit caused by maritime erosion as well as strong meteorological variations that have caused frequent sea surges and resulting in the destruction of urban infrastructures, in addition to the loss of vegetation due to human actions along the coast. Given this scenario, studies were developed on possible approaches to minimize the impacts of maritime erosion and contain the advance of the sea, with this, some methodologies were used, such as the use of gabion, rockfill with granite stone, retaining walls, bagwall, sandbag, and now the intervention of coastal containment through the application of concrete elements in the form of hexagonal rings and solid blocks. The innovative approach involving the use of hexagonal rings and massive blocks as part of coastal containment measures offers a promising prospect. Hexagonal rings, due to their unique geometric shape, can dissipate wave energy efficiently, thus reducing the impact force on the shore. On the other hand, massive blocks act as physical barriers, slowing erosion and protecting coastal soil. The coastal containment approach with hexagonal rings and massive blocks is an innovative and multifaceted strategy to tackle the problem of coastal erosion on the coast of Maceió.

KEYWORDS: Maritime containment. Hexagonal rings. Massive blocks. Coastal erosion.

1 | INTRODUÇÃO

A erosão costeira é uma crescente ameaça em áreas urbanas litorâneas, impulsionando a busca por soluções inovadoras e eficazes para proteger as costas e as comunidades vizinhas. Maceió, sendo uma cidade litorânea de grande importância econômica e social, enfrenta desafios significativos relacionados à perda de terras, danos a infraestruturas e riscos ambientais. Nesse contexto, a implementação de intervenções de contenção costeira se torna crucial para proteger o litoral da cidade e garantir a sustentabilidade das áreas costeiras. Para Souza (2020), é necessário fazer um estudo de reconhecimento do problema, para então realizar um estudo de viabilidade do projeto a ser executado. A metodologia inovadora utilizada na orla de Maceió é a primeira alternativa (estrutura física), pois consiste em implantar uma rampa em anéis hexagonais de concreto pré-moldado, capaz de suportar a energia das ondas do mar, atenuar o processo erosivo natural que está ocorrendo nas localidades. Por outro lado, os 15 blocos maciços atuam como barreiras físicas, desacelerando a erosão e protegendo o solo costeiro. (CAVALCANTE NETO, 2022)

2 | DEFINIÇÃO DE CONTENÇÃO MARÍTIMA

A contenção marítima refere-se às técnicas e estruturas projetadas para proteger áreas costeiras contra os efeitos da erosão, avanço do mar e outras forças naturais. Essas técnicas visam estabilizar o solo costeiro, proteger infraestruturas urbanas e naturais, além de preservar ecossistemas sensíveis. Além disso, é fundamental para mitigar os impactos negativos da ação das ondas, correntes e variações climáticas nas regiões litorâneas. A implementação de estratégias de contenção marítima é fundamental para mitigar os impactos negativos causados pela ação das ondas, correntes e variações climáticas nas regiões litorâneas. Esses impactos podem incluir a perda de terras costeiras, erosão de praias, destruição de habitats naturais, ameaças à infraestrutura urbana e riscos para a segurança das comunidades costeiras.

3 | METODOLOGIAS DE CONTENÇÃO MARÍTIMA APLICADAS ANTERIORMENTE NA ORLA DE MACEIÓ

A proteção costeira é uma preocupação crescente em regiões onde a erosão marítima e as variações meteorológicas podem causar danos significativos às infraestruturas e ao meio ambiente. Nesse contexto, a implementação de intervenções de contenção costeira se torna crucial para proteger o litoral da cidade e garantir a sustentabilidade das áreas costeiras. Diversas metodologias têm sido desenvolvidas e aplicadas para conter os avanços do mar e mitigar os impactos da erosão costeira. Entre essas metodologias, destacam-se o enrocamento com pedra granilítica, os gabiões, o Bolsacreto, os muros de arrimo, os sandbags e o bagwall. Cada uma dessas abordagens apresenta características específicas, conforme é apresentado no quadro abaixo:

Metodologia	Descrição
Enrocamento com pedra granilítica	Consistem na disposição estratégica de blocos rochosos paralelos à praia, atuando como uma barreira de proteção temporária para as construções próximas ao mar.
Bolsacreto	Utiliza sacolas de geotêxteis preenchidas com concreto, formando uma barreira resistente e adaptável ao ambiente marinho.
Muro de arrimo	São construções verticais que garantem a estabilidade do solo, transmitindo cargas para fundações adequadas e protegendo áreas vulneráveis.
Sandbag	São sacos de areia empilhados para criar escudos contra a força das ondas, sendo facilmente removíveis quando necessário.
Bagwall	Utiliza geoformas preenchidas com concreto para formar barreiras sólidas e estáveis ao longo da costa.
Gabião	são estruturas flexíveis de baixo custo, compostas por sacos preenchidos com pedras, proporcionando estabilidade aos taludes e às estruturas costeiras.

Quadro 1 – Descrição das metodologias de contenção marítima utilizadas anteriormente na Orla de Maceió/AL

Fonte: a autora (2024)

4 | ANÁLISE DAS METODOLOGIAS

Os métodos dissipativos anteriormente empregados na orla de Maceió visavam reduzir os danos causados pela erosão costeira. Contudo, as estruturas existentes não lograram conter efetivamente o processo erosivo no local de implementação, destacando a necessidade de um estudo mais aprofundado para desenvolver métodos mais eficazes na dissipação da força das ondas e prevenção do processo erosivo que tem impactado a orla da cidade, conforme apontado por Montenegro (2022). Diante desse cenário, a equipe técnica da Secretaria Municipal de Infraestrutura de Maceió (SEMINFRA) identificou 23 premissas tecnológicas cruciais para a seleção da metodologia mais adequada na contenção do processo erosivo na orla de Maceió, conforme detalhado no quadro abaixo:

Premissa	Descrição
1	Atender ao objetivo desejado, qual seja: proteger a via pública e redes de concessionárias, através da instalação da contenção marítima costeira
2	Resistência estrutural aos esforços aos quais a estrutura será submetida – As áreas a serem protegidas estão localizadas em áreas de contato com o mar com incidência de ondas
3	Ter a fundação assentada abaixo do 0,00m (zero hidrográfico)
4	A Geometria de montante deverá ser em forma de “escada” ou rampa para dissipar a energia das ondas
5	Estrutura semirrígida para dissipar a energia das ondas no próprio corpo da estrutura
6	Ter função dupla: Contenção marítima a montante e arrimo a jusante para suportar os também esforços que o terreno fará sobre a estrutura
7	Silhueta longitudinal e não transversal para não influenciar na dinâmica sedimentar local
8	Combater o vórtex das ondas para não acelerar o processo de erosão marítima
9	Não interferir na fauna e flora do local
10	Não modificar a dinâmica das ondas
11	Acessibilidade (padrão NBR 9050/2015)
12	Não alterar as condições batimétricas do mar
13	Não alterar as correntes marítimas
14	Não alterar as condições geotécnicas
15	Estrutura sem uso de ferragens
16	Baixo custo de manutenção
17	Possibilidade de construção modulada
18	Reversibilidade plena em caso de necessidade de retirada da estrutura
19	Não propagação de vetores
20	Não interferir na utilização da areia da praia
21	Menor prazo de execução
22	Fiscalização simplificada durante a execução da obra
23	Plano de execução da obra simples

Quadro 2 – Premissas tecnológicas para escolha do sistema de contenção marítima utilizado na orla de Maceió/AL

Fonte: a autora

Após a análise das 23 premissas em diversas metodologias diferentes, foi constatado que apenas duas delas atenderam a todos os critérios: aquelas que utilizam anéis hexagonais e blocos maciços de concreto pré-moldado. Ambas as metodologias foram aprovadas e indicadas, de acordo com os estudos realizados pela equipe da Secretaria Municipal de Infraestrutura de Maceió. (CAVALCANTE NETO, 2022) Parte superior do formulário

5 I DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM COM ANÉIS HEXAGONAIS E BLOCOS MACIÇOS

Os anéis hexagonais são estruturas modulares feitas de materiais resistentes à corrosão, como concreto reforçado com fibras ou polímeros reforçados com fibra de vidro. Esses anéis são projetados para formar uma barreira semelhante a um quebra-mar. A geometria hexagonal dos anéis é especialmente projetada para dissipar a energia das ondas, reduzindo a força erosiva da água e protegendo a linha costeira. (MONTENEGRO, 2022)



Figura 1 – Anéis Hexagonais de concreto pré-moldado

Fonte: a autora

Os blocos maciços, por sua vez, consistem em grandes estruturas de concreto ou rocha que são colocadas estratégicamente ao longo da costa. Esses blocos ajudam a dissipar a energia das ondas e correntes, reduzindo a erosão da praia e da linha costeira adjacente. Essa metodologia tem função dupla, pois a montante (lado do mar) serve de contenção marítima e a jusante (lado da terra) tem a função de arrimo, ou seja, suporta o peso que o terreno faz sobre o muro de contenção. (CAVALCANTE, 2022)



Figura 2 – Blocos articulados de concreto pré-moldado

Fonte: a autora

5.1 Características da tecnologia com uso de anéis hexagonais de concreto pré-moldados

A estrutura de contenção costeira é realizada com anéis hexagonais pré-moldados de concreto e não há concretagem “in loco”, dessa forma as fundações do muro podem ser construídas mesmo na presença de água salgada.

É uma metodologia de origem holandesa, que consiste no incentivo à engorda natural de praia através de construção de uma rampa diagonal formada por anéis hexagonais de concreto, pré-moldados e sem ferragens que se encaixam perfeitamente e que juntos formam uma colmeia estrutural suficiente para conter o avanço do mar através da absorção da energia das ondas no próprio corpo e nos espaços vazios e o incentivo a engorda natural da praia pelo processo de decantação sedimentar. (CAVALCANTE NETO, 2022)

Esse sistema de contenção marítima tem a geometria de montante em forma de rampa vazada para dissipar a energia das ondas, zerar as ondas de retorno e do spray de água após o contato com a estrutura, semelhante a jogar água em um colchão. (CAVALCANTE, 2022)

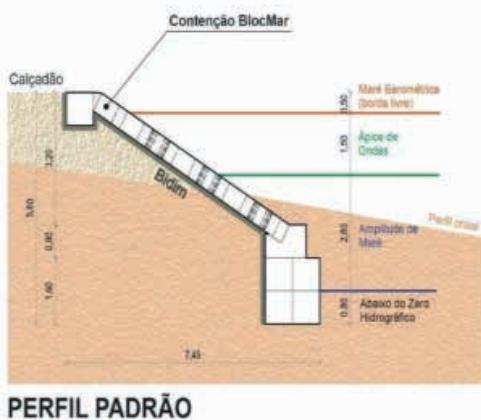


Figura 3 – Ilustração da contenção com aplicação de anéis hexagonais

Fonte: BlocMar (2022)

Os anéis hexagonais de concreto pré-moldados têm as seguintes dimensões: Altura = 50 cm, Arestas = 50 cm e diâmetro interno = 47 cm e pesa 600 kg cada um. A estrutura de contenção marítima tem a geometria de montante em forma de rampa vazada para dissipar a energia das ondas, zerar as ondas de retorno e do spray de água após o contato com a estrutura, semelhante a jogar água em um colchão. Todo interior da estrutura é revestido com manta geotêxtil, para evitar a passagem de sedimentos. A fundação da estrutura é executada abaixo do zero hidrográfico, com blocos maciços de concreto pré-moldado.

O secretário municipal de Infraestrutura, Lívio Lima, informa que toda a metodologia utilizada nos pontos de obra garante um futuro sustentável, respaldado por uma metodologia de ponta, com potencial de longevidade de até 200 anos.



Figura 4 – Fabricação dos anéis hexagonais

Fonte: a autora

Segundo Montenegro (2022), essa tecnologia apresenta diferenciais e características vantajosas em comparação com outras formas de contenção do avanço do mar. Um desses diferenciais é o estímulo à engorda natural de praias, pois o sistema de anéis hexagonais reduz a intensidade das ondas que penetram nos vazios da estrutura, interrompendo o fluxo longitudinal da água, que é o principal agente causador da erosão costeira, e preenchendo esses vazios com areia, promovendo o alargamento da faixa de areia. Além disso, outro destaque desse sistema é sua total reversibilidade devido à construção modular; caso seja necessário realizar alterações urbanísticas ou reposicionar a estrutura, é possível desmontá-la e reinstalá-la em outro local. Outros benefícios incluem a baixa necessidade de manutenção, funcionalidade parcial e prazo de execução reduzido em comparação com outros sistemas de contenção comumente empregados.

5.2 Características da tecnologia com uso de blocos maciços de concreto pré-moldados

Uma metodologia de defesa marítima costeira de origem holandesa, que consiste na construção de um muro formado por blocos de concreto, pré-moldados e sem ferragens que se encaixam perfeitamente e que juntos formam uma estrutura semirrígida suficiente para conter o avanço do mar através da dissipação da energia das ondas no próprio corpo da contenção. (MONTENEGRO, 2022)

Essa metodologia tem função dupla, pois a montante (lado do mar) serve de contenção marítima e a jusante (lado da terra) tem a função de arrimo, ou seja, suporta o peso que o terreno faz sobre o muro de contenção. (CAVALCANTE, 2022)

Como descreve Cavalcante (2022) esse tipo de estrutura marítima não é executada dentro do mar e sim no limite do terreno, no continente.

A estrutura é executada com encaixe entre os blocos de concreto pré-moldados, sem a utilização de ferragem, como o brinquedo lego, possui o interior da estrutura revestido com manta geotêxtil, impedindo o fluxo de sedimentos, além de proporcionar a possibilidade de acessibilidade, a base da estrutura é construída abaixo do zero.

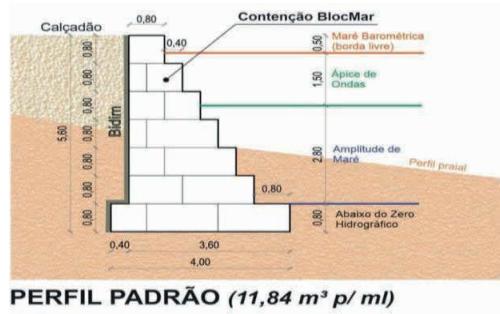


Figura 5 – Ilustração da contenção com uso de blocos maciços

Fonte: BlocMar

Os blocos de concreto pré-moldados têm tamanhos variados, mas o módulo padrão tem $0,80 \times 0,80 \times 1,60$ que pesa 2,5 toneladas cada um. O muro de contenção marítima confere a robustez necessária para suportar os esforços a que é submetido. (CAVALCANTE NETO, 2022)



Figura 6 – Montagem das formas metálicas para fabricação dos blocos maciços

Fonte: a autora



Figura 7 – Vibração do concreto lançado nas formas

Fonte: a autora

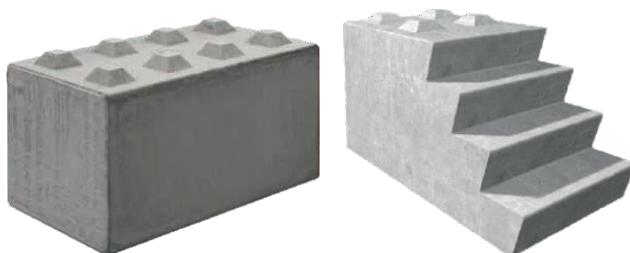


Figura 8 – Modelo de blocos de concreto pré-moldados

Fonte: a autora

A metodologia que utiliza blocos maciços de concreto pré-moldados sobrepostos, sem o emprego de ferragens e com um encaixe perfeito, apresenta características que devem ser consideradas ao compará-la com outros métodos de contenção. Por exemplo, sua funcionalidade parcial é notável, pois esse sistema de contenção marítima é construído de maneira integrada, desde a fundação até a superestrutura. Conforme a obra avança, o muro se torna totalmente operacional, proporcionando funcionalidade parcial de contenção marítima e protegendo a área já construída. Além disso, sua reversibilidade plena é um diferencial significativo. Caso o município planeje realizar mudanças urbanísticas ou, no futuro, o contratante decida reposicionar o muro devido ao fluxo de transporte sedimentar ou outras necessidades, é possível desmontar o muro e reinstalá-lo em outra localidade. Outra característica importante a ser mencionada é a baixa manutenção do sistema. A fiscalização também é simplificada devido aos únicos insumos necessários para a construção da estrutura, que incluem os anéis, a manta geotêxtil, os pré-moldados da escada e as camadas drenantes. Isso simplifica a fiscalização da obra pelos órgãos ambientais e pelos contratantes, contribuindo para uma gestão mais eficiente do projeto de contenção marítima. Este sistema de contenção marítima não modifica as condições de utilização da praia e de sua faixa de areia, não existem obstáculos aos usuários pois a estrutura é sempre construída no limite do terreno público ou privado, sem avanços em direção ao mar.

6 | TRECHOS DA ORLA QUE FORAM CONTEMPLADOS COM AS METODOLOGIAS

Diante da urgência provocada pelo avanço das erosões, especialmente durante os períodos de altas marés, conforme alertado pela Defesa Civil, e com o temor crescente de que a costa pudesse comprometer a integridade da pista, foi necessária uma ação imediata. Em resposta a essa situação crítica, foi necessária uma ação emergencial para lidar com a situação. A contratação das metodologias escolhidas, envolvendo a utilização de anéis hexagonais e blocos maciços de concreto, foi realizada emergencialmente. O processo contratual foi formalizado por meio de um instrumento de contrato estabelecido com o município de Maceió. A supervisão da obra ficou a cargo de um servidor designado pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, conforme disposições regulamentares, garantindo a regularidade e a efetividade dos serviços executados. Esta contratação foi realizada no ano de 2022, visando à preservação imediata da infraestrutura costeira e a segurança da população local. O quadro 3 apresenta os trechos da orla que foram contemplados e quais metodologias foram aplicadas baseando-se na dinâmica das ondas.

Trechos	Localização	Dinâmica	Metodologia utilizada
7	Avenida Assis Chateaubriand, Praia do Sobral, entre a Rua Ary Pitombo e Av. Roberto Pontes Lima	Devido ao perfil praial estar menos baixo e ao maior espaço de faixa de areia que permite melhor assentamento dos anéis.	Anéis hexagonais de concreto pré-moldados
10	Beira-mar, Praia de Jatiúca, em frente ao Jatiúca Hotel & Resort		
11	Beira-mar, Praia de Jacarecica, no final da Av. Litorânea em frente ao Evolution Sea Park		
8-9	Av. Álvaro Otacílio, Praia de Jatiúca, entre a Av. Dr. Júlio Marques Luz e a Av. Empresário Carlos da Silva Nogueira	Devido o perfil praial estar muito baixo, não existindo faixa de areia suficiente para assentamento de anéis, bem como devido as ondas se aproximam do continente e quebrarão em cima da contenção projetada, sendo assim demanda uma estrutura mais robusta.	Blocos articulados de concreto pré-moldados

Quadro 3 – Trechos da orla de Maceió contemplados com a contenção marítima com aplicação dos anéis hexagonais e blocos maciços de concreto pré-moldados

Fonte: a autora

Os trechos de 1 a 6 não estão sendo contemplados na presente contratação uma vez que estará sendo realizado concomitantemente o desvio da Avenida Assis Chateaubriand, entre a Ponte Divaldo Suruagy e o Batalhão do BOPE. Além disso, será implantado o Parque das Dunas, devolvendo o aspecto ambiental da região, tendo em vista que trata-se de uma região de dunas. (MONTENEGRO, 2022)

7 | RESULTADOS

As metodologias com uso de anéis hexagonais e blocos maciços de concreto pré-moldados destacam-se por suas características inovadoras e eficazes na contenção marítima, em comparação com as metodologias anteriormente aplicadas na orla de Maceió. Originárias da Holanda, essas metodologias surgiram em um país pioneiro em técnicas de contenção devido às erosões costeiras enfrentadas. Essa origem holandesa é relevante, já que a Holanda é um país baixo e vulnerável a erosões costeiras, o que torna suas técnicas de contenção altamente confiáveis. Estima-se que a estrutura tenha uma expectativa de duração de 200 anos, com baixa necessidade de manutenção, resistindo tanto ao impacto das ondas quanto ao peso do terreno. Conforme observado por Cícero Rocha (2023), cada uma das 23 premissas estudadas e aplicadas pode ser verificada na prática com o início das obras, confirmando sua eficácia. A funcionalidade parcial, por exemplo, pode ser constatada logo após a execução da fundação da contenção, demonstrando que a

estrutura protege a costa mesmo antes de estar totalmente finalizada.

8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada demonstra uma importante contribuição para a engenharia costeira, especialmente considerando a situação em Maceió, onde várias abordagens anteriores para proteção costeira não foram tão eficazes quanto o esperado. As obras de contenção com uso de anéis hexagonais e blocos maciços de concreto pré-moldados não apenas funcionaram como esperado, mas também apresentaram benefícios adicionais significativos.

Essa abordagem não apenas atuou como uma eficiente contenção contra os efeitos erosivos na costa, mas também promoveu a engorda natural da praia. Além disso, ao contrário de certas estruturas que se mostraram vulneráveis ao tempo, essas novas técnicas demonstraram uma preocupação fundamental com a fundação, garantindo assim uma maior eficácia a longo prazo.

As vantagens não se limitaram apenas ao desempenho técnico. A metodologia adotada também foi considerada limpa em termos de impacto ambiental, evitando a criação de vetores como ratos e baratas, gerando menos resíduos durante a construção e minimizando danos às vidas marinhas, pois as estruturas foram construídas sem impacto direto na água.

Apesar das limitações em relação ao conhecimento prévio sobre essas metodologias, a abordagem inovadora e eficaz implementada pela Prefeitura de Maceió mostra um potencial significativo para ser replicada em outras regiões costeiras. Os resultados positivos obtidos até o momento, incluindo uma vida útil estimada de 200 anos, menor custo em comparação com métodos tradicionais e uma execução simplificada, destacam o sucesso dessa empreitada.

Essas conquistas não apenas oferecem uma solução duradoura para os desafios de erosão costeira, mas também estabelecem um padrão para futuras intervenções em todo o país, demonstrando o impacto positivo que uma abordagem inovadora e bem pensada pode ter na engenharia costeira.

REFERÊNCIAS

[1] FONTANA, F. A.; NEVES, L. F. M.; MARTINS, V. A. **Utilização de recifes artificiais em concreto pré-moldado para contenção da arrebentação marítima no município de Matinhos/PR.** 2011. 108p. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Superior em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba.

[2] SOUZA, M. A. L. **Bagwall: uma alternativa eficaz para controle da erosão costeira,** Marco Lyra / Engenheiro Civil, Maceió, 10, maio. 2013. Disponível em: <https://marcolyra.blogspot.com/2013/05/bagwall-uma-alternativa-eficaz-para.html> Acessado em: 11 de setembro de 2023

[3] GUIMARÃES, B. F. C. **Erosão Costeira e Produção de Blocos para Obras de Proteção com Enrocamento.** Orientador: Prof. Alexandre Júlio Machado Leite, Coorientador: Prof. José Cardoso Guedes. 2012. 111 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

[4] Prefeitura de Maceió. **Prefeitura de Maceió já utilizou mais de 14 mil blocos de concreto nas obras de contenção do mar.** Disponível em: <https://www.aquiacontece.com.br/index.php/noticia/maceio/20/08/2023/prefeitura-de-maceio-ja-utilizou-mais-de-14-mil-blocos-de-concreto-nas-obra-de-contencao-do-mar/197710>. Acesso em: 11 de setembro de 2023

[5] Prefeitura de Maceió. **Prefeitura de Maceió inicia intervenção de urgência em pontos de erosão na costa de Maceió.** Disponível em: <https://maceio.al.gov.br/noticias/seminfra/prefeitura-inicia-intervencao-de-urgencia-em-pontos-de-erosao-na-costa-demaceio>. Acesso em: 16 de setembro de 2023

[6] Gazeta de Alagoas. **Obras de contenção seguem no pontal da barra, em Maceió.** Disponível em: https://d.gazetadealagoas.com.br/cidades/390154/obras-de-contencao-seguem-no-pontal-barra-em-maceio#google_vignette. Acesso em: 25 de outubro de 2023

[7] Cimento Itambé. **Prefeitura de Maceió usa blocos de concreto nas obras de contenção do mar.** Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/prefeitura-de-maceio-usa-blocos-de-concreto-nas-obra-de-contencao-do-mar/>. Acesso em: 11 de setembro de 2023

[8] SOUZA, C. R. G. **A Erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil.** Disponível em: https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-147_Souza.pdf. Acesso em: 16 de setembro de 2023.

[9] KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. M. (Ed.). **Performative Architecture Beyond Instrumentality.** Nova Iorque: Spon Press, 2005.

[10] SOUZA, M. A. L. **Benefícios Ambientais no Controle de Erosão Costeira com o uso do Dissipador de Energia “Bagwall” no Litoral de Alagoas.** Marco Lyra, 2008.

[11] FINOTTI, G. B. S; RIBEIRO M. J. S; TAVARES, R. S, **Estruturas de contenção em gabiões para estabilidade de encostas em processos erosivos.** Orientador: Prof. Dr Carlos Alberto Lauro Vargas. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Goiás.

[12] FASOULAKI, NEVES, E. M; CALDEIRA, L, **50 anos de investigação sobre o comportamento estrutural de barragens de aterro,** 2021.

[13] MONTEMNEGRO, E, L, G, B. **Prefeitura de Maceió, Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEMINFRA, Estudo Técnico Preliminar sobre a Intervenção de Contenção da Erosão Costeira na Orla de Maceió/AL,** 2022.

[14] CAVALCANTI NETO, M, M, **Prefeitura de Maceió, Secretaria Municipal de Infraestrutura de Maceió – SEMINFRA, Memorial Descritivo e Especificações Técnicas do Projeto de Contenção Marítima da Orla de Maceió em: Anéis Hexagonais e Blocos Articulados,** 2022.

[15] SILVA, G. C, **Avaliação de proteção costeira e recuperação de praias em Maceió.** Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Superior de Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas.

- [16] SOUZA, M. A. L. **Como está o avanço do mar nas praias de Maceió**, Marco Lyra Engenheiro Civil, Maceió, 13, dezembro 2020. Disponível em: <https://marcolyra.blogspot.com/2020/12/como-esta-o-avanco-do-mar-nas-praias- de.html>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.
- [17] SUÁREZ, J. **Control de Erosión en Zonas Tropicales**. Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia, 2003.
- [18] IMA, Instituto do Meio Ambiente. **IMA notifica prefeitura de Maceió por causa de entulhos em praias, 2019**. Disponível em: <https://www.ima.al.gov.br/ima- notificaprefeitura-de-maceio-por-causa-de-entulhos-em-praias/>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.
- [19] FISCHER, T.; BURRY, M.; FRAZER, J. Triangulation of generative form for parametric design and rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 14, n. 2, p. 233-240, mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.004>
- [20] FISCHER, T. Generation of Apparently Irregular Truss Structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES, 11., 2005, Viena. **Proceedings [...]** Viena: Vienna University of Technology, 2005. p. 229-238.
- [21] GORDON, D. **The emergent genius of ant colonies**. Ted Talks: ideas worth spreading. The Emergent Genius of Ant Colonies. 2003. Disponível em: <http://www.ted.com/>. Acesso em: 12 setembro 2013.

CAPÍTULO 4

FLOTACIÓN COLECTIVA PIRITA-ARSENOPIRITA-ORO DE LOS RESIDUOS DE NOCHE BUENA, ZAC., Y SU SEPARACIÓN EN CONCENTRADOS PIRITA-ORO Y ARSENOPIRITA

Data de submissão: 26/11/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Ma. M. Salazar-Hernández

Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología Ugt, Ex-Hacienda de San Matías S/N, Guanajuato, Gto.

Ma. del C. Salazar-Hernández

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías Campus Guanajuato. Instituto Politécnico Nacional, Silao de la Victoria Gto., México.

M. A. Corona-Arroyo

Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología Ugt, Ex-Hacienda de San Matías S/N, Guanajuato, Gto.

E. Elorza-Rodríguez

Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología Ugt, Ex-Hacienda de San Matías S/N, Guanajuato, Gto.

RESUMEN: Siempre ha existido interés por el retratamiento de residuos de antiguas operaciones mineras. Durante los 70-80's del siglo XX se concentró Scheelita por medios gravimétricos a partir de residuos de flotación, hoy día, el interés lo es por aquellos que contienen oro, tierras raras, entre otros. Los antiguos residuos de flotación de Noche Buena, Melchor

Ocampo Zac., los cuales totalizan 1.2 Mton, con concentraciones de oro y plata de 3.0 y 40 g/ton, respectivamente, fueron caracterizados y sometidos a un estudio metalúrgico con la finalidad de definir el proceso o combinación de procesos que permita la concentración-extracción de los metales preciosos. Estudios con materiales similares y la caracterización mineralógica de estos residuos hace suponer una íntima asociación entre el oro y alguno de los sulfuros, pirita o arsenopirita. Los resultados de este estudio indican que una remolienda a un K80 = 50 micras, seguida por una concentración por flotación posibilitan la recuperación de 70-75% del oro en un concentrado colectivo de pirita-arsenopirita. La separación de este último, usando como oxidante peróxido de hidrógeno a un ORP de +450 mV y pH de 6.0, producen un concentrado de pirita-oro con un grado de 7.20 g Au/Ton y recuperación global mayor a 50% del oro en residuos. La asociación pirita-oro fue confirmada a través de la caracterización mineralógica sobre una porción de concentrado colectivo pirita-arsenopirita-oro, usando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) de manera indirecta, electrones retrodispersados. No obstante que la asociación pirita-oro es

favorable para su comercialización; arsenopirita quedaría en residuos, con ella la recuperación global de oro se reduce a 50%. En el caso de no hacer separación, la recuperación de oro pudiera ser mayor a 70%, en este caso el arsénico deberá ser recuperado, estabilizado y confinado de manera segura.

PALABRAS CLAVE: Residuos de oro, oro asociado a sulfuros de hierro y/o arsénico.

ABSTRACT: There has always been an interest in the retreatment of wastes from old mining operations. During the 70-80's of the 20th century, Scheelite was concentrated and recovered by gravimetric methods from flotation residues, today, the interest is for those that contain gold, rare earths, among others. The old flotation residues of Noche Buena, Melchor Ocampo Zac., totalizing 1.2 Mton with gold and silver concentrations of 3.0 and 40 g / ton, respectively, were characterized and subjected to a metallurgical study to define the process or combination of processes that allows the concentration-extraction of precious metals. Studies with similar materials and the mineralogical characterization suggest an intimate association between gold and sulfides, pyrite or arsenopyrite. The results of this study point towards that a regrind at K80 = 50 microns, followed by a concentration by flotation, enables the recovery of 70-75% of the gold in a bulk pyrite-arsenopyrite concentrate. The separation of the latter, using hydrogen peroxide as oxidant at an ORP of 450 mV and pH of 6.0, produces a pyrite-gold concentrate with a degree of 7.20 g Au / Ton and an overall recovery of 50-55% of the gold in residues. Pyrite-gold association was confirmed by mineralogical characterization on a portion of the bulk pyrite-arsenopyrite gold bearing concentrate, using indirect scanning electron microscopy (SEM), backscattered electrons. Even though, the pyrite-gold association is favorable for concentrate commercialization; arsenopyrite would remain in waste, flotation separation reduces global recovery of gold to only 50%. In case separating is not done, gold recovery will be greater than 70%, however, the arsenic must be recovered and safely confined.

KEYWORDS: Gold residues, gold associated with iron and/or arsenic sulfides.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Fleming (2014), la producción de oro a nivel mundial se ha mantenido creciendo, esto como resultado de su alta cotización en el mercado, esta producción disminuyó por **covid** en 2019 de 3300 toneladas a 3200 en 2020, no obstante, los analistas prevén que esta tendencia se revertirá para 2023, estimando una producción de oro de 3742 Toneladas (*World-Energy-Trade, 2023*). A diferencia de otros metales, cuyos precios son dictados por factores de oferta-demanda, los del oro son influenciados por factores como interés e inflación, debiéndose hacer notar que el sentimiento de los inversionistas es voluble y no debe subestimarse (*Adams, 2016*).

La producción de oro en México en 2020 observó una reducción durante los dos meses posteriores a marzo, cuando se decretó el cierre por pandemia. Con esta producción se ocupó el noveno lugar a nivel mundial de este metal, China ha pasado a ser el primer productor de oro, dejando atrás a Sudáfrica, esto debido, principalmente, al uso de antiguos métodos de minado-producción. En cuanto a reservas, Norte y Central América poseen el

31% de las reservas de oro en el mundo, seguido por Sudáfrica con el 20%, Australia 12%, entre otros (Adams, 2016; INEGI, 2021).

Antes de 1989 los métodos de procesamiento-extracción de menas de oro eran: gravimetría (14.1%), gravimetría + lixiviación (30.0%), cianuración (50.3 %) y métodos para refractarios (5.6%). Para 2006, se infería que la proporción de oro producido a partir de menas refractarias era superior a 30%, siendo los métodos de pre- o tratamientos usados predominantemente oxidantes. El análisis de la industria del procesamiento-extracción de menas de oro por Adams en 2016, indica que, más del 38% provenía de menas refractarias, seguido de lixiviación en montones con 30%, cianuración/CIL de oro liberable por molienda con 18% y con 14% proveniente de la fundición de concentrados de plomo-cobre. Las rutas de tratamiento para menas refractarias incluyeron: 21% de tostación (ROAST), 10% oxidación a presión (POX), 5% molienda ultrafina (UFG) y 2% de lixiviación con bacterias (BIOX) (Grewal *et al.*, 2014; Elorza, 2020).

Sin lugar a duda, el gran cambio en la producción de oro es la proporción proveniente del tratamiento de menas refractarias, en la que la tostación contribuye con 21%. Este porcentaje es inesperado, ya que en épocas previas a 2012, se llegaron a considerar estos como vías altamente contaminantes. Asimismo, sobresale el que grandes compañías como, Outotec ofrezcan y construyan plantas llave en mano de biolixiviación, definitivamente esto ha influido en el porcentaje de refractarios tratados por esta vía. Actualmente, en México, existe un gran interés por el tratamiento-recuperación de la fracción de oro asociado a pirita-arsenopirita tanto en residuos de concentraciones por flotación vigentes (Peñasquito, Minera William, Saucito) como de operaciones antiguas (Noche Buena, El Oro México). La recuperación de este oro se realiza flotando un concentrado colectivo de piritas, molienda ultrafina a tamaños de aproximadamente 10 micras y lixiviación con cianuro de los valores de oro. En casos de oclusión la extracción del oro sólo es posible mediante un pretratamiento que involucre la destrucción de la matriz; entre estos procesos cabe mencionar: biolixiviación, oxidación en autoclave-cianuración; 125 lb/pulg² y 125 °C, o tostación-cianuración (Suárez, 2006; Adams, 2016; Islas y Elorza, 2018).

ANTECEDENTES

Aproximadamente del total de reservas disponibles de oro, el 40% corresponde al tipo: pirita, arsenopirita y pirrotita (Chanturiya *et al.*, 2003). La pirita es el segundo mineral huésped más común de las especies de oro, es un sulfuro relativamente estable, recurrentemente acompaña a los minerales de oro y plata. Esta asociación puede mostrar muy diversa complejidad, es decir, el oro puede encontrarse finamente diseminado sobre las piritas, pero expuesto. En otras puede encontrarse incluido a tamaño muy fino (0.10 a 1.0 μm) dentro de granos pirita de entre 5 a 15 micras, o bien dentro de la red cristalina de la pirita (oro invisible). Bajo estas dos últimas asociaciones, es necesaria una remolienda

a tamaño finos para obtener una completa o parcial liberación de las partículas de los metales preciosos o bien la oxidación de los sulfuros antes de proceder a su extracción.

El retratamiento de residuos de oro ofrece ventajas de no costos de minado y “bajos” de reducción de tamaño, no obstante, la alta concentración del metal precioso en residuos, comúnmente, infiere algún problema de refractariedad. Los residuos de oro comúnmente caen dentro de tres categorías: finos, tamaño de partícula de aproximadamente 70-75% a -74 micras; arenas, 10-20% pasando 74 micras; y rocas de descapote (Muir *et al.*, 2016). La concentración de oro en estos materiales suele ser baja, 0.15-0.35 g Au/Ton, no obstante, en algunos casos cuando hay presencia de sulfuros sus concentraciones pueden ser mayores (Islas y Elorza, 2018; Grammatikopoulos y Downing, 2019). La recuperación metalúrgica de estos residuos puede incluir procesos como: concentración gravimétrica, flotación y cianuración, entre otros. Esta última suele realizarse usando parámetros y condiciones estándar como: 42% Sólidos w/w, 0.20-0.30% NaCN, álcali protector 0.05% CaO y 18 a 24 horas de tratamiento, así como carbón activado. La flotación colectiva de metales preciosos suele ser también una opción viable para obtener productos de mayor concentración, no obstante es importante reconocer que las recuperaciones no sobrepasan el 60-70% (Muir *et al.*, 2016). Cuando los valores de oro se asocian a sulfuros de pirita-arsenopirita, lo recomendable es flotar un concentrado colectivo, el cual sea posteriormente sometido a una separación, esta última con la finalidad de alcanzar la mayor concentración de oro posible, así como delimitar el proceso de recuperación de oro. La separación es importante debido a los estrictos límites de la concentración de arsénico que deben tener los concentrados, la presencia simultánea de pirita y arsenopirita en muchas de las menas limita su concentración por flotación, y prácticamente excluye su tratamiento por cualquier proceso pirometalúrgico (Iglesias *et al.*, 1992; Subramanian *et al.*, 2005).

La separación pirita-arsenopirita de sus concentrados bulk, ha visto en la última década un gran número de propuestas, entre las que sobresalen: humeato de sodio (HA)- Na_2CO_3 , peróxido de hidrógeno (H_2O_2), dióxido de cloro (ClO_2), hipoclorito (ClO^-), entre otras. Sales inorgánicas y reactivos orgánicos, aducen proporcionar resultados favorables, procesos simples y controlables, los que pudieran ser de interés para la industria minero-metalúrgica (Subramanian *et al.*, 2005; Dong *et al.*, 2019; Xiaopeng *et al.*, 2019; Zaizheng *et al.*, 2019; Forson *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de prueba para esta investigación fue extraído del confinamiento de residuos de las antiguas operaciones de Noche Buena a través de un exhaustivo muestreo. Consistente este en la sistemática perforación de pozos-toma de muestras, secado, pesado, compositado y finalmente homogeneización de las porciones extraídas en proporciones definidas tomando en cuenta la segregación que ocurre durante el confinamiento de colas

de un tratamiento en una presa de jales (Muir *et al.*, 2016; Pérez-Pérez *et al.*, 2017).

La muestra primaria se obtuvo de la perforación de 34 barrenos con profundidades variables de 0-6 o 0-14 metros. Cada dos metros de barrenación constituyeron una muestra (5-8 kilogramos), totalizando estas 161 con una masa total de aproximadamente 1.5 toneladas. Una porción de 50-60 kg del compósito general fue provista para su caracterización mineralógica a SGS (Estados Unidos), y una masa similar fue entregada para su estudio metalúrgico al Departamento de Minas, UGTO.

Caracterización Física

La determinación de distribución de tamaño de partícula se realizó en húmedo, lavando una porción sobre la malla 325. Las fracciones retenidas en mallas una vez pesadas, se analizaron por absorción atómica y gravimetría. La Figura 1, muestra la distribución de tamaño de partícula $S_u K_{80}$ de 160 micras, clasifica los residuos como finos ($\sim 70\% @ 74$ micras).

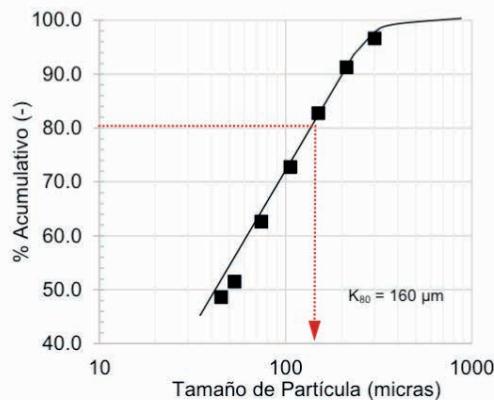


Figura 1.- Distribución de tamaño de partículas de los residuos de oro de Nochebuena.

Caracterización Química

La muestra de estudio (50 kg) fue provista con un anexo digital, con información de su caracterización química y mineralógica, no obstante, la que una vez homogeneizada y pesada en porciones de un kilo se repitieron análisis químicos. La Tabla 1, lista los ensayos químicos incluidos en el anexo digital, así como los realizados en el departamento.

MUESTRA	Ley g/Ton		Ensajes %				Fuente
	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	
Residuos Noche Buena	3.05	42	1.99	0.84	0.05	9.11	Anexo Digital
Residuos Noche Buena-M	2.77	16				8.61	Dept. Minas

Tabla 1.- Concentración de metales base y preciosos en muestra de residuos (*Grammatikopoulos y Downing, 2019*).

Caracterización Mineralógica

El análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) indica que, la muestra consiste principalmente de **calcita** (34.6%), **cuarzo** (22.3%), wollastonita (9.2%), micas (2.0%), tremolita (1.9%), feldspato K (1.7%), plagioclasa (1.7%), otros silicatos (1.2%), y cantidades traza de talco, óxidos-Fe, otros óxidos, carbonatos, cloritas y otros minerales. Pirlita (14.1%) es el principal sulfuro, seguido por arsenopirita (3.9%), galena (3.3%), esfalerita (1.0%), y otros sulfuros (0.12%). Tabla 2 resume los resultados de la difracción de rayos-X y la Figura 2 los porcentajes de liberación de sulfuros en residuos (*Grammatikopoulos y Downing, 2019*).

Muestra	Mayor	Moderado	Menor	Trazas
Noche Buena	Calcita	Cuarzo, Wollastonita	Pirlita, mica, yeso, arsenopirita	Montmorillonita, galena, calcopirita

Tabla 2.- Resultados del análisis de difracción de rayos-X de los residuos de oro de Noche Buena (*Grammatikopoulos y Downing, 2019*).



Figura 2.- Porcentaje de liberación de las principales especies en los residuos de oro Noche Buena (*Grammatikopoulos y Downing, 2019*).

Dada la concentración de oro en residuos, la microscopía de barrido no lo detectó, y no fue posible identificar su asociación a alguno de los sulfuros de ganga.

EXPERIMENTACIÓN

Residuos de Oro

El diagrama de bloques de la Figura 3, muestra el esquema general de experimentación. Por la importancia económica de los metales preciosos, la experimentación-resultados se centró en la concentración por flotación y separación de los minerales de pirita y arsenopirita, uso de depresores de arsénico, y lixiviación de residuos con cianuro de sodio.

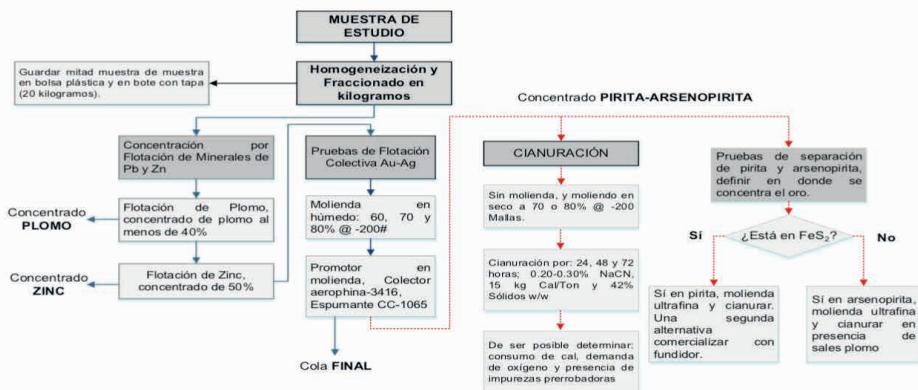


Figura 3.- Diagrama de bloques del proceso experimentación a los jales de Noche Buena (A P Pérez-Lozano, 2021).

Celda de Flotación Aireación Forzada-Reactor de Vidrio

El estudio de flotación se realizó en una celda de flotación FLSmidth de aireación forzada, provista con los elementos de control y activación respectivos, tales como: botón de encendido, a un lado de este se localiza otro botón, el cual fija la velocidad del impulsor a una velocidad específica, comúnmente entre 500 a 700 rpm; mayores velocidades a esta causan vórtices o excesiva pérdida de pulpa, ver Figura 4.

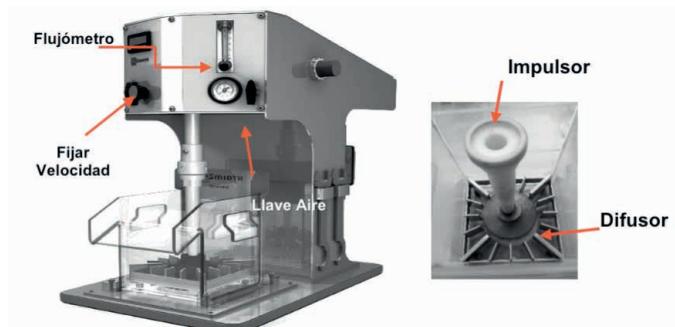


Figura 4.- Celda de flotación Essa-FTM101 y sus elementos (FLSmidth): botón de encendido, botón velocidad, flujómetro, llave aire, celda-difusor e impulsor.

El flujo de aire se condiciona al tamaño de la celda, específicamente al área de celda, de manera que la velocidad de aire en celda sea de 0.5-2.5 cm/s. Por ejemplo, para la celda de un litro con dimensiones transversales de 17.5 cm x 17.5 cm, con un flujo de aire 10 L/min la velocidad de ascenso de aírea (J_g) es de 0.54 cm/s.

Metodología

Tanto las pruebas de flotación como de lixiviación fueron realizadas considerando diversos procedimientos estándar o normados: Flotación, **ASTM Coal Standar e ISO Committee on Coal Testing**; Lixiviación, **Contreras, McClelland y Muir** (Contreras, 1967; McClelland, 1988; Crozier, 1992; Muir et al., 2016). La descripción de estos procedimientos y sus mejoras pueden ser encontrados y consultados en trabajos previos de los autores (Suárez, 2006; E B Suárez-Chávez et al., 2007; García-Torres et al., 2013; Prieto, 2013; Pérez, 2015).

Las pruebas iniciales de flotación colectiva piritita-arsenopiritita-oro fueron abiertas, y tuvieron como finalidad maximizar la recuperación y grado de oro variándose tiempos de remolienda (12, 14, 16, 24 y 30 minutos), consumo de reactivos y tiempos de flotación. El diagrama de flujo de pruebas lo conformó una etapa primaria (4'), una agotativa (2.5') y dos-tres etapas de limpias (2.5' c/u). Es importante resaltar un cambio en el esquema de concentración por flotación; retomado este de la experiencia industrial de minera **William**, siendo este la recirculación del total de productos intermedios: concentrado agotativo y medios de limpias, a la cabeza del primario, lo que permite maximizar grado y recuperación de los valores de oro.

Definidas las condiciones de la flotación colectiva, se realizarán pruebas cíclicas (cuatro ciclos), el concentrado de estas se sometió a separaciones a ORP entre + 450 - + 500 mV a pH's de 6 y 11, los oxidantes a probados lo fueron permanganato de potasio 1 M ($KMnO_4$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , 30%) e hipoclorito de sodio. Las pruebas de separación se realizaron sobre masas de 120 o 200 gramos de concentrado FeS_2 -AsFeS-Au, el procedimiento general de estas es resumido a continuación.

La masa de concentrado se colocó en celda de un cuarto de kilogramo, se agrega agua y se ajusta al pH de prueba según sea el caso (6 o 11), se coloca probeta de ORP en celda y se agrega solución oxidante hasta alcanzar el valor de +450 mV, se acondiciona por un tiempo de diez (10) minutos, al término se agrega espumante MIBC y se colecta flota por espacio de dos minutos el primer concentrado de piritita. Previo a colectar el segundo concentrado, se ajusta nuevamente el pH, ORP se mantiene entre +430 - +460 mV, se adicionan 28 g A-404/Ton, se acondiciona 5 minutos, finalizados estos se agrega espumante y se flota el segundo concentrado de piritita por dos minutos.

También se realizaron pruebas abiertas usando un depresor de arsénico, Solvay 7261, esto con la finalidad de evaluar el reducir su concentración, y analizar la alternativa

de evitar o facilitar la separación pirita-arsenopirita.

Las pruebas de lixiviación con cianuro se realizaron sobre los residuos sin y con remolienda (24 min) de concentrado colectivo y concentrado FeS_2 -Au remolido a 25 micras. Las condiciones de prueba fueron: 0.05% CaO libre, 0.30% NaCN, 42% de sólidos (Dilución 1.4:1) y 48 horas de tratamiento. Como en la flotación, los procedimientos de prueba seguidos han sido descritos en trabajos previos o textos (Contreras, 1967; McClelland, 1988; A P Pérez-Lozano, 2021).

Las lixiviaciones se realizaron usando el sistema experimental mostrado en la Figura 5, constituido por un recipiente de plástico con capacidad de 3 L o bien de vidrio de 1 L, ambos provistos de bafles. La agitación del sistema la provee un cabezal Cafram de torque constante con motor de 1/2 HP, al que se adosa una flecha-propela tipo turbina de seis alabes y 5 cm de diámetro. La toma de muestras se realiza a través de la salida localizada en la parte baja del recipiente.

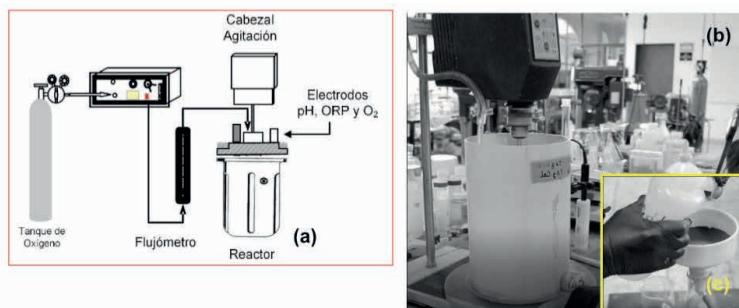


Figura 5.- (a) Sistema global, (b) Sistema de agitación, extracción muestra, y (c) filtrado y lavado de sólidos para ensayo químico (A P Pérez-Lozano, 2021).

Procedimientos Analíticos

Los análisis de oro y plata se realizaron por gravimetría, ensaye vía seca. Para este se pesan cantidades de 5 a 20 gramos de muestra, se funden en una mezcla de fundente, las masas fundidas se vacían y dejan solidificar. Solidificadas las mezclas, se conforman a cubos. Estos últimos son copelados hasta que solo queda en el fondo de las copelas un minúsculo botón de doré. Pesado el doré se aparta la plata con una disolución de HNO_3 (3:1 y 7:1), con las masas registradas antes y después del apartado se calculan las leyes de Au y Ag (Haffy *et al.*, 1965; F. de J; Pérez-Lozano, 2015).

Las determinaciones elementales de Pb, Cu, Zn y Fe se realizaron vía absorción atómica de acuerdo con las normas 3500-PbB, -CuB, -ZnB y -FeB. Se pesa una determinada masa de muestra, 0.20 – 1.0 g, se digiere en caliente con ácidos (190-200 °C). Realizada la digestión, cada muestra se filtra y recibe en matraces de 100 mL (papel filtro Whatman 41 o 42), se afora y se agita. De cada muestra, se hacen dos diluciones, ello según la concentración esperada del metal en solución (1/10 o 1/20, etc.), finalmente

la muestras concentradas y diluciones son analizadas en un espectrómetro de absorción atómica (*Clesceri et al., 1989*).

ANÁLISIS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas abiertas de flotación colectiva se realizaron bajo las condiciones resumidas en Tabla 3 y diagrama de flujo de la Figura 6.

ETAPA	pH	Tiempo (min)	CONSUMO DE REACTIVOS (g/Ton)			
			A-31	ZnSO ₄	XAP	CC-1033
Molienda	nat	8.0	30.0	400.0		
Acondicionamiento	5.5	5.0			80.0	
Primario	5.5	4.0				35.0
Agotativo	5.5	2.0			50.5	35.0
1era, 2da y 3era Limpia	5.5	2.0			10.0	

Tabla 3 .- Condiciones de pruebas abiertas para probar depresor de arsénico 7006 de Solvay, así como acumular masa de concentrado colectivo FeS₂-AsFeS-Au para separación con NaClO.

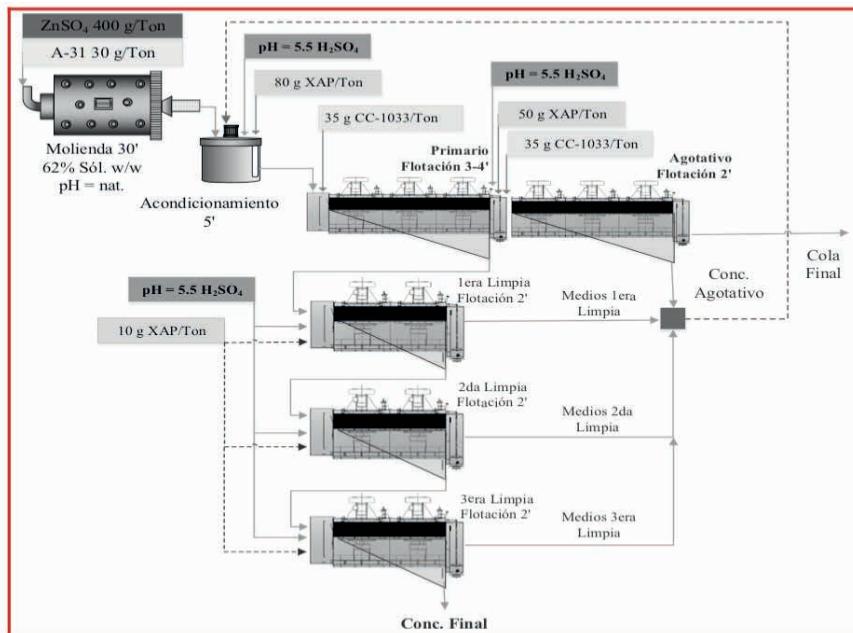


Figura 6.- Diagrama de flujo de flotación colectiva de los residuos Noche Buena, comprendiendo las etapas: primario, agotativo y tres limpias.

Los resultados de prueba a diferentes tiempos de molienda y extendiendo el tiempo de flotación de la etapa primaria a cuatro minutos (4), son resumidos en Figura 7.

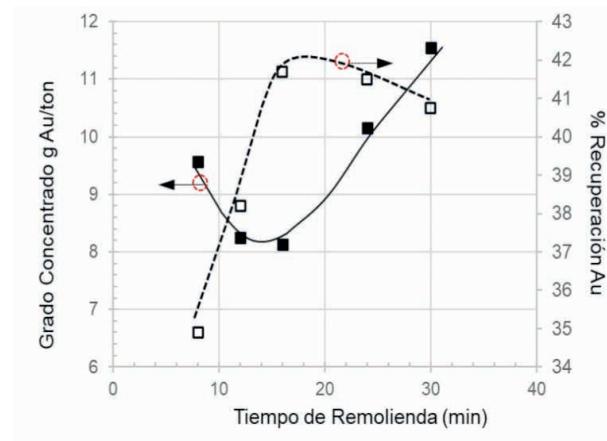


Figura 7.- Calidad y recuperación de concentrado final colectivo a diferentes tiempos de molienda, pruebas abiertas.

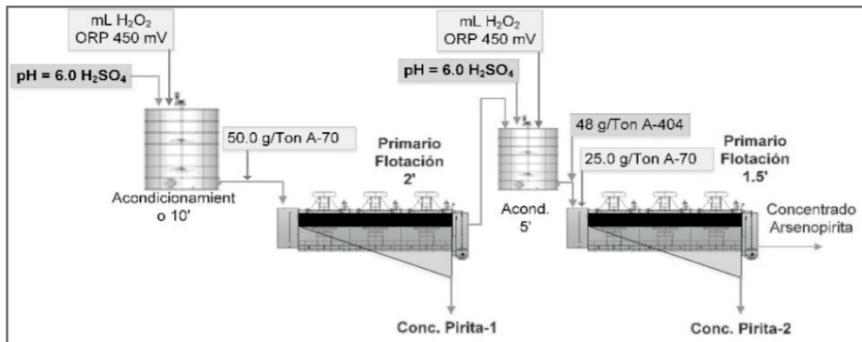
Los resultados de pruebas 5 y 6 se usaron para estimar las posibles recuperaciones operacionales. Los cálculos se basaron en el procedimiento de balance de materia denominado **seudo-equilibrio**, la Tabla 4 resume grado y recuperación de oro en concentrado colectivo $\text{FeS}_2\text{-AsFeS-Fe}$.

PRODUCTO	Peso %	LEY (g/Ton)		% Distribución	
		Au	Ag	Au	Ag
Conc. Final (Pba-5)	14.9	10.161	29.33	60.76	24.34
Conc. Final (Pba-6)	17.4	11.55	66.95	67.97	46.97

Tabla 4.- Grado y distribución de oro en concentrado colectivo, resultados base Pruebas 5 y 6.

Pruebas de Separación $\text{FeS}_2\text{/AsFeS}$

El arsénico es un elemento de alto riesgo ambiental, y requiere precauciones especiales en las operaciones de fundición. Uno de los pocos usos del arsénico es como preservador de madera, la producción excedente de arsénico (As_2O_3) debe ser confinada en bloques de permafrost, por el contrario, un concentrado de pirita-oro podría ser comercializado y tratado. Figura 8 muestra el diagrama de pruebas de separación, y Tabla 5 resume algunos resultados de separación usando permanganato (Pba. 7), peróxido de hidrógeno (Pba. 8) e hipoclorito de sodio (Pba. 9) como oxidantes. El peróxido de hidrógeno a pH de 6.0 mostró ser una opción de separación bastante más estable y controlable que usando permanganato (KMnO_4). Con hipoclorito de sodio también se observan resultados prometedores, y su fuerza y bajo costo lo hacen que deba considerarse para pruebas posteriores.



Prueba-07: 150 gramos, oxidante KMnO_4 , pH =5.5.

MUESTRAS	PESO %	Ensajes g/Ton		Ensajes %		Distribución %			
		Au	Ag	Fe	As	Au	Ag	Fe	As
Cabeza	100.0	2.94	109.2						
Pba-7 Conc.1 (FeS_2 -Au)	5.1	8.83	145.7	25.18	4.08	4.4	13.9	4.1	4.0
Pba-7 Conc.2 (FeS_2 -Au)	6.1	8.35	125.2	23.48	4.37	5.0	14.2	4.5	5.1
Pba-7 Conc FeS_2	11.2	8.57	134.5	24.25	4.24	9.4	28.1	8.6	9.1
Pba-7 Cola (AsFeS)	88.8	10.4	60.0	32.41	5.31	90.6	71.9	91.4	90.9
Total	100.0	10.2	68.3	31.5	5.19	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabla 5.- Resultados de las pruebas de separación, usando permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno.

Prueba-08: 150 gramos, oxidante H_2O_2 (6 mL al 50%), pH = 6.0

MUESTRAS	PESO %	Ensajes g/Ton		Ensajes %		Distribución %			
		Au	Ag	Fe	As	Au	Ag	Fe	As
Cabeza	100.0	2.90	109.2						
Pba-8 Conc.1 (FeS_2 -Au)	69.8	6.9	75.0	34.9	1.0	47.5	75.5	72.6	12.0
Pba-8 Conc.2 (FeS_2 -Au)	11.4	9.2	65.0	33.1	5.2	10.3	7.7	11.3	10.8
Pba-8 Conc FeS_2	81.2	7.20	73.6	34.6	1.6	57.8	83.2	83.9	22.8
Pba-8 Cola (AsFeS)	18.8	22.7	33.0	28.8	22.8	42.2	16.8	16.1	77.2
Total	100.0	10.1	66.0	33.5	6.2	100.0	100.0	100.0	100.0

Prueba-09: 150 gramos, oxidante NaClO , pH = 10.0

MUESTRAS	PESO %	Ensajes g/Ton		Ensajes %		Distribución %			
		Au	Ag	Fe	As	Au	Ag	Fe	As
Cabeza	100.0	2.90	109.2						
Pba-9 Conc.1 (FeS_2 -Au)	13.7	12.42	344	13.91	3.50	19.5	28.0	12.6	8.2
Pba-9 Conc.2 (FeS_2 -Au)	38.5	12.54	140	15.09	3.90	55.4	32.1	38.5	25.6
Pba-9 Conc FeS_2	52.2	12.51	194	14.78	3.80	74.9	60.1	51.1	33.8
Pba-9 Cola (AsFeS)	47.8	4.56	140	15.44	8.10	25.0	39.9	48.9	66.2

	100.0	8.91	168	15.09	5.86	100.0	100.0	100.0	100.0
--	-------	------	-----	-------	------	-------	-------	-------	-------

Figura 8.- Diagrama de flujo de separación pirita-arsenopirita usando como oxidante peróxido de hidrógeno a pH de 6.0.

Los resultados de flotación usando un depresor de arsénico en la concentración colectiva de pirita-arsenopirita son mostrados en la Figura 9, el mínimo se observa a un consumo de depresor S9261 de 10 g /Ton.

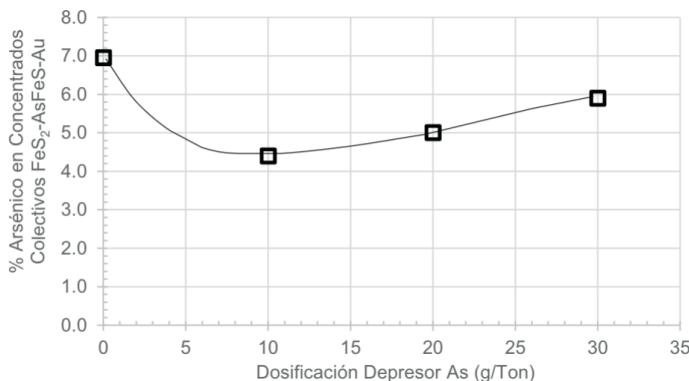


Figura 9.- Concentraciones de arsénico en concentrados colectivos FeS₂-AsFeS-Au a distintas dosificaciones de depresor S-9261.

CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como objetivo definir un proceso de concentración-extracción de los metales base-preciosos a partir del retratamiento de los residuos de pirita-arsenopirita de Noche Buena, Zacatecas, teniéndose como conclusiones las siguientes.

1. Tiempos de remolienda de 20, 24 y 30 minutos; tres etapas de limpia y recirculación de concentrado agotativo y medios de limpias a cabeza de flotación, maximizan grado y recuperación de oro, los resultados son resumidos en Tabla 6.

PRODUCTO	Peso %	LEY (g/Ton)	% Distribución	
		Au	Au	Ag
Alimentación	100.0	2.72	100.0	100.0
Concentrado Final (24'), 3' Primario	14.9	10.16	60.8	24.3
Concentrado Final (30'), 4' Primario	17.4	11.55	68.0	47.0

Tabla 6 .- Resultados de grado y recuperación del concentrado colectivo con 24 y 30 minutos de remolienda, tres limpias, y recirculación de productos a primario de flotación colectiva (Sharp, 2014).

2. Durante las pruebas de separación pirita-arsenopirita, el ORP de pruebas se controló a +450 mV adicionando oxidantes como permanganato de potasio (KMnO₄), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) e hipoclorito de sodio. El peróxido resulta ser bastante

controlable a un pH de 6.0. La cola o concentrado de arsenopirita contiene el 77.2% del arsénico, mientras que el concentrado de pirita tiene el 22.8%. El concentrado de pirita tiene una ley 7.20 g Au/Ton que podría ser aceptable para un fundidor de casa, con una recuperación de 57.8% Au en este concentrado.

Los resultados de separación obtenidos pueden ser mejorados al incrementar liberación (remolienda 24 o 30 minutos). La caracterización mineralógica y pruebas de separación por flotación permitieron determinar que el oro se asocia a la pirita, el concentrado final podría llegar tener un grado máximo de 15 g Au/Ton.

3. Las pruebas de cianuración sobre porciones de muestra sin y remoliendo (16 min), bajo condiciones de 42% de sólidos, 0.30% de concentración de cianuro, 9 kg Cal/Ton y tiempos de 48 horas, observaron mínimas extracciones del oro contenido: 0.66% sin moler muestra ($K_{80} = 160 \mu\text{m}$) y 5.0% remoliendo muestra por dieciséis minutos ($K_{80} = 60 \mu\text{m}$). La recuperación de plata alcanzó una recuperación de 70% remoliendo. La baja extracción de oro implica que la asociación oro-sulfuro es del tipo invisible, por lo que, se debe considerar el concentrar los minerales huéspedes pirita-arsenopirita y su separación.

4. Las recuperaciones de lixiviación con cianuro sobre concentrado colectivo pirita-arsenopirita-oro sin y con remolienda ultrafina (25 μm) son también bajas, 1.73 y 11.15 %, respectivamente; lo que puede deberse al tamaño de las partículas de oro incluidas en el sulfuro huésped. El análisis mineralógico realizado al concentrado mostró que el oro se encuentra dentro de partículas de pirita arsenical, y de acuerdo con el microanálisis EDS el oro se encuentra como “oro invisible”, presente en cristales de pirita en forma de micro o nano inclusiones o en solución sólida.

5. La alternativa propuesta lo es una flotación selectiva plomo-zinc, seguida de la flotación colectiva de un concentrado pirita-arsenopirita-oro ($\text{FeS}_2\text{-AsFeS-Au}$). Este último se propone sea separado utilizando la alternativa de flotación-oxidación con H_2O_2 a pH de 6.0 (*Subramanian et al., 2005; Zaizheng et al., 2019; Ruizing et al., 2020*).

REFERENCIAS

- A. D. Adams (2016). Overview of the Gold Mining Industry and Major Gold Deposits. Gold Ore Processing, Project Development and Operations. M. Adams, Elsevier, pág.: 25-30.
- L. S. Clesceri, Greenberg, A. E. y Trussell, R. R. (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- D. Contreras (1967). Experimentación de Minerales de Oro y Plata por el Proceso de Cianuración. México, D.F., Comisión de Fomento Minero.
- R. D. Crozier (1992). Flotation, Theory, Reagents and Ore testing. Oxford, England, Pergamon Press.

V. A. Chanturiya, Federov, A. A., Matveyeva, T. N., Nedosekina, T. V. y Ivanova, T. A. (2003). Proceedings of de 22nd International Mineral Processing Congress (IMPC). Theoretical Aspects of Gold-Bearing Sulfides Selective Flotation, Cape Town, South Africa.

Z. Dong, Zhu, Y., Han, Y., Gao, P., Gu, X. y Sun, Y. (2019). "Chemical oxidation of arsenopyrite using a novel oxidant—Chlorine dioxide." *Minerals Engineering* 139: pág.: 1-10.

E B Suárez-Chávez, E Elorza-Rodríguez, F Nava-Alonso y García-Torres, V. (2007). XXVII CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE MINERÍA, Veracruz, Ver. Concentración y Extracción de los Valores de Oro-Plata Contenidos en unos Jales de Matriz Pirítica-Arsenopirítica, Veracruz, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A. C.

E. Elorza (2020). Concentración Gravimétrica. Notas en la Contigencia. U. d. Guanajuato. Guanajuato: pág.:1-44.

P. Forson, Zanin, M., Skinner, W. y Asamoah, R. (2021). "Diferencial flotation pf pyrite and arsenopyrite : Effect of hydrogen peroxide and collector type." *Minerals Engineering*(163): pág.: 1-11.

V. García-Torres, Salazar-Hernández, M. M. y Elorza-Rodríguez, E. (2013). Memorias del XXI Congreso Internacional de Metalurgia Extractiva. DESARROLLO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA UNA MENA DE ALTA LEY DE ORO México, D. F., Universidad Autónoma Metropolitana.

T. Grammatikopoulos y Downing, S. (2019). An Investigation into, MINERALOGY OF A COMPOSITE SAMPLE, TAURO CABEZA, MEXICO Lakefield, Ontario, Cánada, SGS México: pág.: 1-59.

I. Grewal, Kleek, M. V. y MacAlister, S. (2014). Gravity recovery of gold from within grinding circuits. Canada: pag.:1-8.

J. Haffy, Riley, L. B. y Goss, W. D. (1965). A Manual on Fire Assaying an Determinationof the Noble Metals in Geological Materials. USA, Bureau of Mines, pág.: 2-41.

N. Iglesias, Palencia, I. y Carranza, F. (1992). "Eliminación de la Refractariedad de una Mena de Oro en Matriz de Arsenopirita Mediante Sulfato Férrico." *Revista Metalúrgica* 28(4): 251-257.

INEGI (2021). Producción minerometalúrgica. INEGI, Secretaría-Economía.

C. A. Islas y Elorza, E. (2018). Relevancia de Factores de Flotación en la Recuperación de los Metales Preciosos Contenidos en los Jales del Monte de San Nicolás, Gto., bajo un Diseño de Cuadro Latino U. d. Guanajuato. Guanajuato, Verano de Investigación Delfín: pág.:1-28.

G. E. McClelland (1988). Testing of Ore. Introduction to Evaluation, Design and Operation of Previous Metal Heap Leaching Projects. I. P. G. H. y. J. E. K. Dirk J. A. van Zyl. Littleton, Denver, Colorado, Society of Mining Engineers, Inc., Littleton, Colorado: pág.: 61-67.

G. E. McClelland (1988). Testing of Ore. INTRODUCTION TO EVALUATION, DESIGN AND OPERATION OF PRECIOUS METAL HEAP LEACHING PROJECTS. I. P. G. H. y. K. E. K. D J A Van Zyl. Littleton, Colorado, Society of Mining Engineers: pág. : 61 - 67.

A. Muir, Mitchell, J., Flatman, S. y Sabbagh, C. (2016). Retreatment of Gold Residuos. Gold Ore Processing, Project Development and Operations. M. D. Adams, Elsevier: pag.: 709-728.

A. P. Pérez-Lozano (2021). Extracción de Au-Ag de un Concentrado de Piritita-Arsenopirita, Unidad Noche Buena, Zac. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Guanajuato, Universidad de Guanajuato. **Licenciatura:** pág.: 1-120.

F. d. J. Pérez-Lozano (2015). Tratamiento de una mena refractaria de oro-plata asociada a carbón. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Guanajuato, Gto., Universidad de Guanajuato. **Ingeniero Metalúrgico:** 106.

P. F. Pérez-Pérez, García-Dobarganes, J. E., Caudillo, M. G. y Elorza, E. (2017). ESTUDIO MINERO METALÚRGICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD TÉCNICA DE BENEFICIO DE LOS DEPÓSITOS DE JALES MINERALES, Ubicados en la Comunidad del Monte de San Nicolás del municipio de Guanajuato, Gto. Guanajuato, Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología: pág.:1-64.

F. J. Pérez (2015). TRATAMIENTO DE UNA MENA REFRACTARIA DE ORO-PLATA ASOCIADA A CARBÓN. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Licenciatura: pág.: 1-104.

M. J. D. Prieto (2013). Cinética de Flotación de la Mena de Palmarejo y su Aplicación Industrial. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y geología. Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Licenciatura: pág.: 1-151.

L. Ruizing, Jialei, L., Yunwei, W. y Dianwen, L. (2020). "Flotation separation of pyrite from arsenopyrite using sodium carbonate and sodium humate as depressants." *Colloids and Surfaces A*: pág.: 1-5.

A. Sharp (2014). Libro Cálculo de Producción-Reconciliación Concentrados Pb, Zn y Piritita-Au (Excel). Velardeña, Durango, Minera William, Labrí: pág.: 1-32.

E. B. Suárez (2006). Recuperación del Au-Ag de unos Jales con Matriz Piritica y Arsenopirita. Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Guanajuato, Universidad de Guanajuato. **Licenciatura:** pág.: 1-100.

K. N. Subramanian, Connelly, D. E. y Wong, K. Y. (2005). "Separation of Pyrite and Arsenopyrite in a Gold Sulfide Concentrate." *Centenary of Flotation Symposium*: pág.: 1-8.

World-Energy-Trade (2023). "Perfil de los cinco principales países productores de oro del mundo." Retrieved 30 Julio 2023, from <https://www.worldenergytrade.com/metales/oro/perfilando-los-principales-paises-productores-de-oro-del-mundo>.

N. Xiaopeng, Jianhua, C., Yugiong, L., Liuyin, X., Heyun, S. y Renman, R. (2019). "Correlation of surface oxidation with xanthate adsorption and pyrite flotation." *Applied Surface Science* **495**.

D. Zaizheng, Yimin, Z., Yuexin, H., Pen, G., Xiaotian, G. y Yongsheng, S. (2019). "Chemical oxidation of arsenopyrite using a novel oxidant-Chlorine dioxide." *Minerals Engineering*(139): pág.: 1-10.

CAPÍTULO 5

DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL EM E-SPORTS NO CENÁRIO MARICAENSE

Data de submissão: 08/11/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Renan Alves de Oliveira

Universidade de Vassouras

Douglas Barboza

Universidade de Vassouras

de trabalho local que garanta oportunidades de desenvolvimento econômico individual e coletivo.

PALAVRAS-CHAVE: eSports; Educação; Desenvolvimento Econômico; Maricá Games; Trabalho Decente.

RESUMO: Este estudo investiga a cultura dos games e sua profissionalização em Maricá, evidenciando a evolução dos videogames de simples lazer para competições profissionais, os eSports. O objetivo é analisar a importância dos eSports para a economia local e seu papel na inclusão social. Para isso se adotou uma abordagem quali-quantitativa através de uma *survey*, que foi aplicada durante os dias do Maricá Games visando capturar as opiniões dos participantes sobre o impacto dos eventos de e-sports com foco especial para o desenvolvimento profissional deste setor em Maricá. Os resultados demonstraram que os eSports podem ser um motor para o desenvolvimento econômico e empoderamento dos jovens em Maricá, sugerindo que a ampliação de uma indústria de games local, com educação formal e não formal e investimento público em espaços voltados para tal desenvolvimento como caminhos para a composição de um mercado

RISE AND PROFESSIONALIZATION OF ESPORTS IN MARICÁ

ABSTRACT: This study investigates the culture of gaming and its professionalization in Maricá, highlighting the evolution of video games from simple leisure activities to professional competitions, known as eSports. The objective is to analyze the importance of eSports for the local economy and their role in social inclusion. To achieve this, a qualitative-quantitative approach was adopted through a survey, which was conducted during the Maricá Games in order to capture participants' opinions on the impact of eSports events, with a special focus on the professional development of this sector in Maricá. The results demonstrated that eSports can serve as a driver for economic development and empowerment of youth in Maricá, with the expansion of a local gaming industry, formal and informal education, and public investment in spaces

dedicated to such development being identified as pathways to creating a local job market that ensures opportunities for individual and collective economic development.

KEYWORDS: eSports; Education; Economic Development; Maricá Games; Decent Work.

INTRODUÇÃO

Os eSports emergiram de uma subcultura de nicho para se tornar um fenômeno global que desafia os paradigmas convencionais de esportes e entretenimento (DAL-YONG, 2021). A profissionalização desses jogos transformou não apenas seu consumo, mas também sua percepção no contexto esportivo e cultural (TAYLOR, 2012). A internacionalização dos campeonatos de eSports apresenta implicações econômicas significativas, impulsionando economias locais (CANDAL; ASSIS, 2023). Assim a trajetória de ascensão e profissionalização dos eSports, considerando suas implicações e forças motrizes, traz o questionamento sobre o desenvolvimento dos eSports no município de Maricá como uma política pública que promova o desenvolvimento econômico, cultural e tecnológico, e consequentemente, melhorias na educação e crescimento do trabalho decente.

A importância deste estudo se manifesta na urgência de compreender a evolução dos eSports de uma forma de entretenimento casual para uma indústria plenamente profissionalizada, cujas implicações econômicas são notáveis, e na qual investimentos na área têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento profissional e o crescimento econômico, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, sendo um setor de relevância estratégica (CANDAL; ASSIS, 2023).

A análise da identidade e do engajamento dos fãs de eSports, como destacado por Barney e Pennington (2020), oferece *insights* cruciais sobre o setor e seu potencial de crescimento, apontando que motivos relacionados aos laços sociais são identificados como preditores significativos do envolvimento dos fãs, enquanto a força da identidade dos mesmos desempenha um papel essencial na relação entre os motivos e a frequência de buscas por esportes eletrônicos.

Neste contexto é notada a necessidade de compreender as opiniões locais sobre a profissionalização dos eSports, para tanto foi realizado um levantamento durante o Maricá Games – nível 3, durante os dias 19 e 28 de março, visando identificar como a comunidade local opina sobre este mercado de maneira contextualizada ao evento.

Para a realização desta pesquisa, foi aplicado um formulário eletrônico através de entrevista presencial e direta durante o evento Maricá Games, contendo uma série de perguntas que abordavam diferentes aspectos relacionados aos eSports e ao evento em si, dentre as quais, incluíam aspectos sociodemográficos, questões sobre participação em competições de eSports e opiniões sobre a qualidade das competições no Maricá Games. Foram exploradas percepções sobre as oportunidades de carreira em eSports em Maricá,

a influência dos eSports na comunidade local e o potencial de desenvolvimento econômico através do investimento nesse setor.

Este instrumento permitiu a coleta de dados relevantes sobre a percepção e o comportamento dos participantes em relação aos eSports, fornecendo uma base sólida para análise e alcance do objetivo da pesquisa. O objetivo deste estudo é analisar as percepções e opiniões de participantes do Maricá Games como grupo de interesse, em relação aos eSports, investigando as expectativas sobre oportunidades de carreira em eSports em Maricá, compreendendo o impacto dos eSports na comunidade local e explorando o potencial de desenvolvimento econômico através do investimento nesse setor.

Além disso, busca-se entender a relevância dos eventos de eSports para a promoção da cultura dos games em Maricá, atração de turistas e visitantes para a cidade, necessidade de infraestrutura específica para eSports e o impacto dos eventos de eSports na economia local, possibilitando a reflexão sobre a transformação e suas consequências para os envolvidos no setor.

Este trabalho se encontra organizado de maneira que a Introdução contextualiza a importância de compreender as percepções dos participantes do evento Maricá Games sobre os eSports, justificando o trabalho e apontando seu objetivo. A Fundamentação Teórica discute a evolução dos eSports, desde suas origens até sua profissionalização, explorando também o impacto econômico e cultural desse fenômeno, enquanto a seção de Metodologia descreve o estudo realizado durante o Maricá Games, incluindo detalhes sobre a coleta de dados e abordagem metodológica. Os resultados e discussões são apresentados na seção correspondente, analisando as percepções dos participantes sobre oportunidades de carreira, desenvolvimento econômico e impacto turístico. Por fim, a seção de Considerações Finais sintetizam as conclusões do estudo e propõem direções para pesquisas futuras, visando aprimorar o entendimento e o aproveitamento dos eSports como um recurso para o desenvolvimento local em Maricá.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Daneluz (2023), eSport é um termo que vêm do inglês *electronic sports*, ou esportes eletrônicos, que é usado para definir a modalidade competitiva de jogos. Nesses eventos, jogadores profissionais ou amadores se desafiam em torneios de vários tipos de games, que vão desde esportes virtuais a jogos de estratégia em tempo real. Os jogos podem ser disputados de forma individual ou em equipe, comumente com competições que contam com transmissões ao vivo.

De acordo com Rogers (2019), há uma tendência em querer se referir aos eSports como algo extremamente novo, que cresceu organicamente nos últimos anos até o ponto de receber milhões de visitantes no Twitch, que se tornou a quarta maior plataforma de

streaming do mundo, entretanto os esportes eletrônicos tem suas origens na década de 70, com a realização das Olimpíadas Intergaláticas de Spacewar, um dos primeiros jogos de computador, na Universidade de Stanford, na Califórnia. A competição, disputada entre estudantes da faculdade, tinha como prêmio um ano de assinatura da revista *Rolling Stone*. Na década de 80, foi organizada a *Space Invaders Championship* pela Atari, que foi a primeira competição de eSports de grande magnitude, com aproximadamente 10 mil competidores de várias partes dos Estados Unidos. Na década de 90, foi criado a *Nintendo World Championships*, com etapas em várias cidades dos EUA e com a final tendo sido disputada na Califórnia. O torneio ganhou uma 2^a edição quatro anos mais tarde, que foi a *Nintendo PowerFest 94*.

Ocorreu em 1999, umas das primeiras citações do termo *eSport* por Mat Bettington em um comunicado de imprensa para o lançamento da *Online Gamers Association* (OGA), comparando os *eSports* aos esportes tradicionais, e tal termo ganhou reconhecimento nos anos 2000 pelos jogadores, desenvolvedores e instituições, havendo ainda a popularização e melhor desenvolvimento dos jogos para computador que permitiam maiores números de jogadores (ROGERS, 2019).

Esse fenômeno vem acompanhando a proliferação da Internet e das redes globais, o que tem gerado mudanças substanciais nos padrões de consumo de informação e entretenimento, que consequentemente, vem promovendo as transmissões de eSports para espectadores se estabeleceram como a forma predominante de engajamento nesse meio, refletindo a crescente importância e influência desses eventos na cultura contemporânea, que leve os eSports a assumirem cada vez mais uma posição institucional semelhante à dos esportes tradicionais, influenciando não apenas o entretenimento, mas também a interação e o consumo em mídia digital em escala global (MERILÄINEN & RUOTSALAINEN, 2023).

Os eSports são transmitidos em todo o mundo e os seus atuais números de audiência competem com os desportos tradicionais mais populares do mundo, logo os eSports são um dos mercados competitivos em mais rápido crescimento no mundo (STOEVER, 2021).

Neste sentido, há uma diversidade entre gerações contemporâneas, como *millennials* e a geração Z, destacando suas diferenças tecnológicas e culturais, pois enquanto os mais velhos podem ter dificuldades com tecnologias mais modernas, os mais jovens podem preferir novas mídias, e tais disparidades refletem em papéis opostos na sociedade atual, influenciados por contextos políticos, sociais e culturais em constante evolução, que poderiam apontar para distintas preferências (LECCARDI; FEIXA, 2011).

Impulsionado pelas gerações mais jovens, o Twitch tornou-se uma plataforma fundamental para assistir e participar de competições de eSports globalmente, com fácil acesso através de dispositivos conectados à internet, que permite a transmissão de jogabilidade e compartilhamento de dicas, se estabelecendo como um canal crucial para atrair espectadores e cultivar uma base de fãs engajada em consonância com a crescente influência dos eSports na cultura digital atual (STAVROULA, 2018).

O crescente interesse do público nos eSports, aliado ao aumento dos prêmios oferecidos nas competições, tem gerado um influxo significativo de investimentos nesse meio, tornando os eSports cada vez mais atrativos, estimulando os fabricantes de jogos a investirem em competições e ligas, que também tem impulsionado a formação de novas equipes profissionais, ampliando as oportunidades de carreira para os jogadores e contribuindo para a profissionalização do setor, que reflete não apenas o sucesso dos eSports, mas também o potencial de crescimento e desenvolvimento contínuo desse mercado em constante evolução (JENNY et al., 2018).

Os jogadores profissionais de eSports adotam rotinas altamente competitivas, com treinamentos diários prolongados por horas, e quando são contratados por equipes, recebem salários e têm acesso a uma gama de recursos de suporte, incluindo treinadores, psicólogos, fisioterapeutas, nutricionistas, entre outros profissionais para apoiá-los. (WARD; HARMON, 2019).

García-Naveira (2019) destaca que os jogadores profissionais de eSports compartilham semelhanças significativas com atletas de esportes tradicionais em termos de rotina e exigências físicas e mentais, enfatizando a necessidade de habilidades psicológicas como confiança, motivação e controle do estresse. Além disso, ele ressalta que os eSports apresentam características fundamentais dos esportes convencionais, incluindo a presença de instituições reguladoras, clubes profissionais e equipes técnicas buscando alto desempenho esportivo e produtividade nos negócios, sendo a diferença principal o ambiente de realização de cada atividade.

Com o contínuo avanço tecnológico, surgem novos modelos e estilos de jogos, impulsionando a especialização de empresas e desenvolvedores nesse ramo, pois o que antes era considerado apenas uma atividade de lazer hoje se transformou em uma profissão em ascensão, atraindo a atenção de diversas áreas que buscam apoiá-la, tal evolução não apenas alimenta o reconhecimento dos jogadores profissionais, mas também estimula o crescimento e a inovação entre os desenvolvedores de videogames, fortalecendo ainda mais a indústria dos eSports (LÉRIA; MACIEL, 2022).

METODOLOGIA

O estudo sobre o desenvolvimento e profissionalização dos eSports em Maricá foi realizado durante o evento “Maricá Games - Nível 3”, que ocorreu em Itaipuã entre os dias 19 e 28 de abril. Para este fim, foram estabelecidas definições claras para os termos essenciais: eSports, referindo-se a competições de jogos eletrônicos organizadas; profissionalização, indicando o processo de estruturação e gestão dos eSports como carreiras profissionais; e comunidade de jogadores, representando o grupo ativo envolvido em jogos eletrônicos e eventos relacionados.

Fontes relevantes, como artigos científicos e livros sobre eSports, foram consultadas

para elaborar um questionário que capturasse as opiniões dos participantes do evento, a fim de refletir fielmente os desafios da profissionalização no contexto local.

As variáveis examinadas incluíram os comportamentos dos participantes, a frequência de participação em eventos de eSports e o envolvimento com videogames. A amostra consistiu nos participantes do evento mencionado, a fim de obter suas percepções sobre o evento e o potencial impacto dos eSports na cidade.

Destacam-se as limitações do estudo, principalmente a seleção da amostra restrita aos participantes do evento.

Quanto à natureza da pesquisa, a mesma foi exploratória e descritiva, buscando mapear o cenário atual dos eSports em Maricá e identificar tendências de profissionalização.

Foi utilizado um formulário eletrônico hospedado no Google Forms para coletar os dados dos participantes, que foram abordados durante o Maricá Games - Nível 3, e convidados a colaborar com a pesquisa.

Foi adotada uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos, visando obter uma análise estatística das respostas ao questionário alinhada a interpretação dos comentários abertos para a análise qualitativa, funcionando como um *feedback* complementar para complementar a compreensão do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1, demonstra que embora a amostra aleatória de respondentes, que foi realizada sem viés, tenha identificado uma maioria de participantes entre 18 e 24 anos, a mesma não é tão expressiva sobre as demais, o que demonstra que a participação e interesse no Maricá Games não ficou restrito a um público com faixa etária específica. A figura 2 mostra que a maioria dos participantes é do gênero masculino.

Qual é a sua faixa etária?

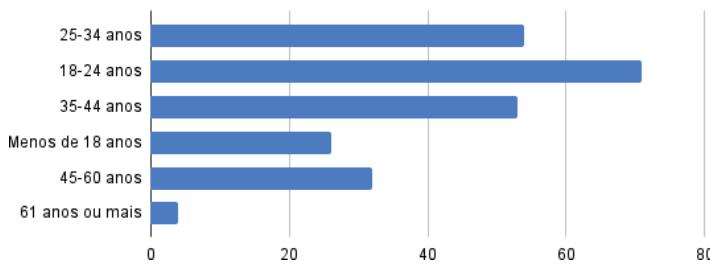


Figura 1 – Faixa Etária dos Participantes

Fonte: Os autores.

Qual é o seu gênero?

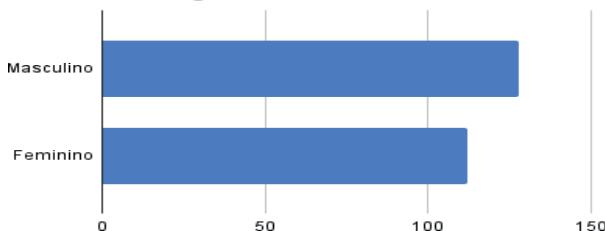


Figura 2 - Gênero dos Participantes

Fonte: O autor.

Os gráficos expostos nas figuras de 3 a 5, servem para evidenciar que a expectativa das pessoas que estão atentas ao mercado de eSports em sua maioria é positiva, se considerando que a maioria acredita que os eSports podem oferecer oportunidades de carreira em Maricá, tão como desenvolvimento econômico para o município, além de corroborar com a atração de turistas.

Você acredita que os e-sports podem oferecer oportunidades de carreira em Maricá?

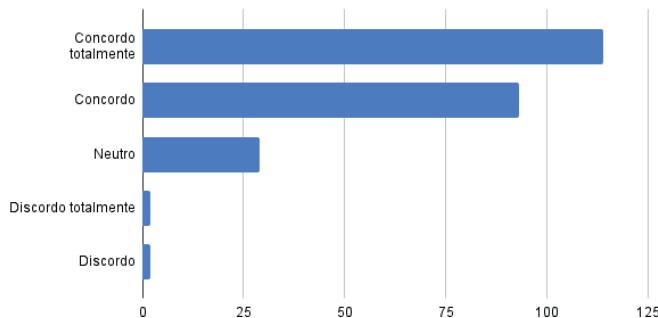


Figura 3 – Oportunidades de Carreira em Maricá

Fonte: O autor.

Você acha que os e-sports podem contribuir para o desenvolvimento econômico de Maricá?

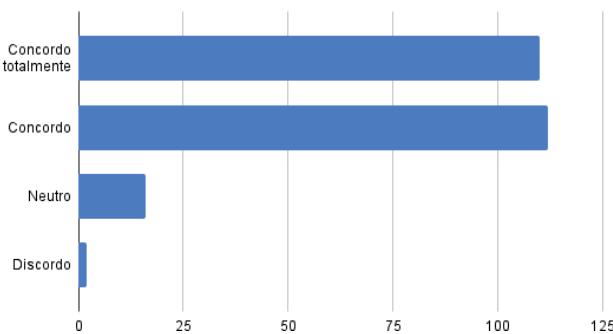


Figura 4 – Desenvolvimento Econômico em Maricá

Fonte: O autor.

Você acredita que o investimento no mercado gamer em Maricá pode atrair mais turistas e visitantes para a cidade?

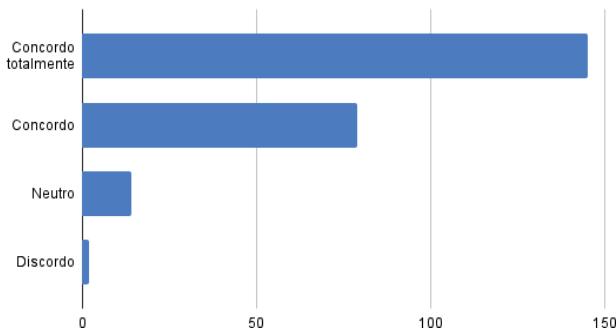


Figura 5 – Atração turística para Maricá

Fonte: O autor.

Os gráficos da figura 6 e 7 mostram que a opinião do público foi bastante otimista quanto a qualidade e organização das competições de eSports durante o evento Maricá Games.

Qual é a sua opinião sobre a qualidade das competições de eSports no Maricá Games?

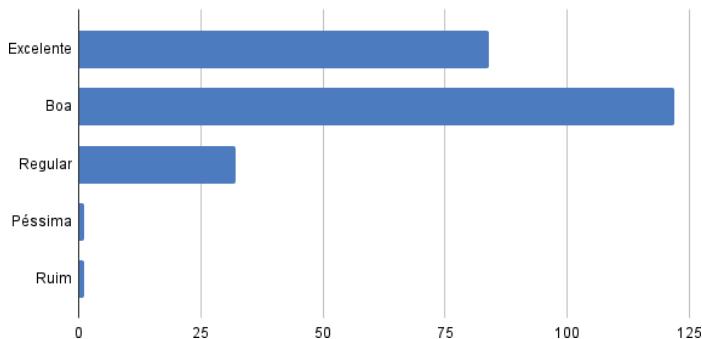


Figura 6 – Qualidade das competições

Fonte: O autor.

Como você avalia a organização geral do Maricá Games Challenge?

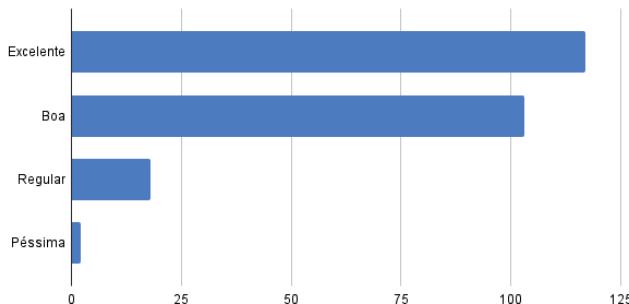


Figura 7 - Organização do Maricá Games

Fonte: O autor.

O Maricá Games vêm se destacando como um evento de games e esportes eletrônicos de grande importância no estado do Rio de Janeiro, alcançando sucesso em suas três edições realizadas nos anos de 2022, 2023 e 2024 (Gama, 2024). Diversos fatores tem influenciado o sucesso do evento, como a estrutura de ótima qualidade, a variedade de atrações, as parcerias estratégicas, a comunicação eficiente e o engajamento da comunidade local (Gama, 2024).

A capacidade do Maricá Games de se renovar a cada ano tem sido um fato chave para seu sucesso. Como uma equipe dedicada e sempre observando as tendências do mercado de jogos eletrônicos, o evento tem conseguido trazer novidades e atrações que dão audiência e interesse ao público ao longo das edições (Gama, 2024).

A diversidade das atividades oferecidas é um dos grandes atrativos do evento. Com três palcos e três arenas e esportes eletrônicos, GP Brasil de ciclismo virtual, mais de 50 consoles disponíveis para o público jogar, concursos de Cosplays, palestras, oficinas interativas, lojas temáticas e uma variedade de atividades, o Maricá Games consegue atender diversas idades (Gama, 2024).

O impacto do Maricá Games para a economia de Maricá é significativo, não apenas como um evento de entretenimento, mas também para impulsionar o turismo e a indústria dos jogos eletrônicos no município. Através de parcerias estratégicas e do engajamento da comunidade local, o evento tem contribuído para promover a inclusão social e cultural por meio do mundo dos games, fortalecendo a economia local e consolidando a cidade como referência no cenário dos eventos de cultura Geek e gamer do Brasil.

Foi identificado durante o evento que há a pretensão da idealizadora de construir um legado do evento, promovendo ações educacionais voltadas para os eSports, que pode atender a expectativa dos entrevistados para o desenvolvimento e profissionalização deste mercado no município de Maricá.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As percepções e opiniões dos participantes do Maricá Games revelaram uma expectativa geralmente positiva em relação ao potencial desse mercado para Maricá, já que a maioria dos participantes acredita que os eSports podem oferecer oportunidades de carreira e colaborar com o crescimento econômico do município.

O Maricá Games tem impactado a economia local, impulsionando não apenas o turismo, mas também a indústria dos jogos eletrônicos em Maricá. Por meio de parcerias estratégicas e engajamento comunitário, o Maricá Games promove a inclusão social e cultural, consolidando a cidade como referência no cenário dos eventos de cultura geek e gamer no Brasil.

É sugerido que estudos futuros investiguem de forma mais aprofundada as possibilidades de desenvolvimento educacional relacionadas aos eSports em Maricá. Além disso, análises mais detalhadas sobre o impacto econômico do Maricá Games e suas implicações para a indústria local de jogos eletrônicos podem fornecer contribuições para o planejamento e aprimoramento do evento como política pública.

Por fim, explorar as perspectivas dos diversos *stakeholders* envolvidos no Maricá Games, incluindo organizadores, participantes, patrocinadores e autoridades locais, pode contribuir para uma compreensão mais abrangente dos desafios e oportunidades associados aos eSports em Maricá.

REFERÊNCIAS

- BARNEY, J.; PENNINGTON, N. An exploration of esports fan identity, engagement practices, and motives. **Telematics and Informatics Reports**, v. 11, p. 100081, 2023.
- CANDAL, C. A. G.; ASSIS, A. C. O. A internacionalização dos campeonatos de e-sports e os impactos nas economias que investem no setor. **Revista Eletrônica da Estácio Recife**, v. 5, n. 1, 2019.
- DAL YONG, J. Historiography of Korean Esports: perspectives on spectatorship. **International Journal of Communication**, v. 14, p. 3727-3745, 2020.
- DANELUZ, G. S. A construção das marcas humanas de influenciadores digitais: uma análise do streamer Casimiro. Trabalho de conclusão em Relações Públicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/274283/001199282.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 mai. 2023.
- GAMA, Carlos. 13 maio 2024. Disponível em: <https://dropsdejogos.uai.com.br/noticias/cultura/entenda-marica-games/>.
- GARCÍA-NAVEIRA, A. MAD Lions Esports Club: Experiencia profesional del psicólogo del deporte. **Revista de Psicología Aplicada al Deporte y al Ejercicio Físico**, Madrid, v.4, n.1, p.1-11, 2019.
- JENNY, S. E. et al. eSports venues: A new sport business opportunity. **Journal of Applied Sport Management**, v. 10, n. 1, p. 8, 2018.

LECCARDI, C.; FEIXA, C. El concepto de generación en las teorías sobre la juventud. Última década, v. 19, n. 34, p. 11-32, 2011.

LÉRIA, Tacyana Komochena; MACIEL, Juliana. A profissionalização do Esport e as consequências jurídicas. **Academia de Direito**, v. 4, p. 1311- 1333, 2022.

MERILÄINEN, M.; RUOTSALAINEN, m.. The light, the dark, and everything else: making sense of young people's digital gaming. **Frontiers in Psychology**, v. 14, p. 1164992, 2023.

ROGERS, R. **Understanding esports: An introduction to the global phenomenon**. Londres: Lexington Books, 2019.

STAVROULA, D. Performing gender on Twitch.tv: Gendered playbour through But-lerian theory. **International Journal of Media & Cultural Politics**. v. 14, p 103-110, 2018.

STOEVER, Jane K. Title IX, esports, and# EToo. **Geo. Wash. L. Rev.**, v. 89, p. 857, 2021.

TAYLOR, T.L. Raising the Stakes: E-Sports and the Professionalization of Computer Gaming. 2012.

WARD, M. R; HARMON, A. D. E-Sport Superstars. **Journal of Sports Economics**, v. 20, p. 987-1013, 2019.

MENEZES, Bruna Campos de. **O que são esports? Como surgiram e os principais jogos competitivos**. 2020. Ge: G1 Globo. Disponível em: <https://ge.globo.com/esports/noticia/esports-o-que-sao-como-surgiram- e-tudo-sobre-o-cenario-competitivo.ghtml>. Acesso em: 25 maio 2024.

CAPÍTULO 6

INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS GENERATIVAS COM PYTHON: FUNDAMENTOS, APRENDIZADO DE MÁQUINA, REDES NEURAIS CLÁSSICAS E PROFUNDAS, TRANSFORMERS E ENGENHARIA DE PROMPT PARA GERAÇÃO DE IMAGENS

Data de submissão: 18/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP

Cornélio Procópio-PR

<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Marcos Banheti Rabello Vallim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio-PR

<http://lattes.cnpq.br/2326190172340055>

Guilherme Cyrino Geromei

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP Piracicaba

Piracicaba-SP

<http://lattes.cnpq.br/7535398878830738>

Vitor Blanc Milani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Mestrando - PPGEM-

CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP

Cornélio Procópio-PR

<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

Fabio Rodrigo Milanez

UniSENAI PR Campus Londrina

Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Angelo Feracin Neto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio-PR

<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São João Del Rei

Departamento De Ciência Da Computação

– UFSJ

Minas Gerais-MG

<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Etec Jacinto Ferreira de Sá – Ourinhos Ourinhos-SP

<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

Vicente de Lima Gongora

UniSENAI PR Campus Londrina

Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Henrique Cavalieri Agonilha

Universidade Filadélfia (Unifil)

Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Pedro Henrique Calegari

Engenheiro Mecânico I Engenheiro de Segurança do Trabalho I Gerente de Projetos
Unopar Universidade Norte do Paraná – Gerente projetos Bosch Car Service
Jacarezinho-PR
<http://lattes.cnpq.br/1239023712415204>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Kazuyochi Ota Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestre PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Gabriel Henrique Oliveira Uliam

Egresso Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/9917773125320806>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos
Ourinhos – SP
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Edinei Aparecido Furquim dos Santos

Governo do Paraná Secretaria de estado da Fazenda
Maringá – PR
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE) – Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

RESUMO: O texto apresenta uma visão geral do campo de inteligências artificiais generativas, com ênfase no uso de Python e na evolução de métodos e arquiteturas. Destaca conceitos fundamentais do aprendizado de máquina, passando das abordagens clássicas de redes neurais para modelos mais complexos de aprendizado profundo. Enfatiza o papel dos Transformers, originalmente voltados à linguagem, em tarefas visuais, bem como a importância do “*prompt engineering*” para direcionar e controlar a qualidade e o estilo das criações. Além disso, menciona exemplos práticos, códigos em Python, estudos de caso e aplicações concretas na geração de imagens. Por fim, o artigo conclui sugerindo futuros

estudos e aprofundamentos no tema.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Neurais Artificiais, *Machine Learning*, Arquiteturas e Topologias de Redes Neurais.

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCES WITH PYTHON: FUNDAMENTALS, MACHINE LEARNING, CLASSICAL AND DEEP NEURAL NETWORKS, TRANSFORMERS AND PROMPT ENGINEERING FOR IMAGE GENERATION

ABSTRACT: The text provides an overview of the field of generative artificial intelligence, emphasizing the use of Python and the evolution of methods and architectures. It highlights fundamental machine learning concepts, moving from classical neural network approaches to more complex deep learning models. It underscores the role of Transformers—originally geared towards language—in visual tasks and the importance of “prompt engineering” to guide and control the quality and style of generated content. Additionally, it references practical examples, Python code, case studies, and concrete applications in image generation. In conclusion, the article suggests avenues for future research and further topic exploration.

KEYWORDS: Artificial Neural Networks, Machine Learning, Neural Network Architectures and Topologies

1 | INTRODUÇÃO

A inteligência artificial está cada vez mais presente no cotidiano de pessoas e empresas, notadamente em *chatbots* (DUTT; SASUBILLI; YERRAPATI, 2020), mas suas aplicações vão além (SICILIANO; KHATIB, 2008). Ela pode ser dividida em quatro áreas principais: Aprendizado de Máquina (HAYKIN, 2009), Lógica Fuzzy — cujo aumento de complexidade de sistemas reduz a precisão e o significado das declarações, tornando-as quase mutuamente exclusivas (ZADEH, 1968) —, sistemas evolutivos e agentes inteligentes, incluindo a robótica em grupo (MENDONÇA, et al, 2019). No aprendizado de máquina, as redes neurais artificiais, inspiradas em neurônios biológicos, desempenham papel central, refletindo um campo extenso e em contínua expansão.

Não será escopo dessa pesquisa fornecer maiores detalhes matemáticos e códigos de todos as Redes Neurais Artificiais analisadas.

A figura 1 mostra uma estrutura básica de um neurônio artificial (HAYKIN, 2009), no qual tem uma somatória de entradas com pesos sinápticos uma função de ativação e um sinal de Bias

O código para execução de uma porta lógica com 3 entradas pode ser conferido no link <https://colab.research.google.com/drive/1sSUaY44x6EHR-dGBa45X8wgeRCPbqnI3#s/collTo=IXTnlg7I-D2V&line=63&uniquifier=1>

Os resultados encontrados pelo treinamento efetuado pelo código do em *Python* originou os seguintes resultados, valor dos pesos sinápticos de cada entrada, o valor do Bias e o vetor de saída que só ocorre o valor 1 na ultima linha, quando todas as entradas forem 1.

Modelo matemático do neurônio artificial

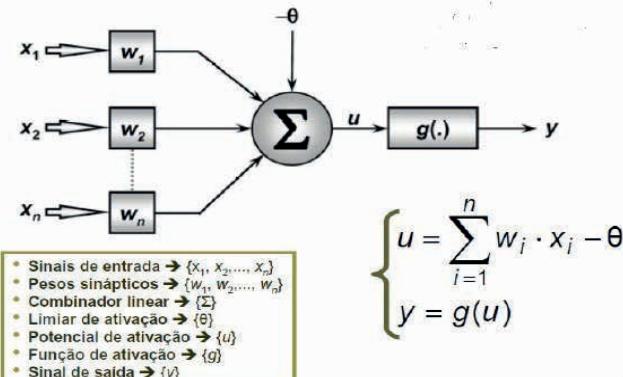


Figura 1 – Neurônio Artificial

Fonte: Haykin (2009)

Pesos sinápticos finais: [0.18351649 0.58862023 0.28512041]

Bias final: -0.509764542962082

Saídas calculadas: [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]

Quanto ao aprendizado de máquinas, foco desse artigo. A evolução das redes neurais clássicas até os modelos baseados em *transformers* reflete décadas de avanços em técnicas de aprendizado de máquina e computação. Essa trajetória inclui o desenvolvimento de arquiteturas cada vez mais sofisticadas e especializadas para resolver problemas em diferentes domínios, como visão computacional, processamento de linguagem natural (PLN), jogos, entre outros.

A linguagem natural é base para os *chatbots*, que precisam de estímulo para interação com eles. Neste contexto, surge a chamada engenharia de prompt.

Criar um bom *prompt* exige clareza, contexto e especificidade para direcionar a resposta desejada. É fundamental evitar ambiguidades, estruturando o pedido de forma lógica e direta. Especifique o objetivo esperado, como texto explicativo, lista ou código, e forneça contexto relevante para que a solicitação seja compreendida.

Detalhe informações importantes para limitar o escopo e inclua o formato ou estilo desejado, como parágrafos, listas ou linguagem formal. O uso de exemplos concretos ajuda a ilustrar expectativas e evita vaguidade, garantindo respostas mais focadas. Por fim, revise o *prompt* com base nos resultados, ajustando-o para refinar os pedidos e obter respostas mais alinhadas às suas necessidades. Posto isso, em alguns casos prompts negativos se fazem necessário para questões de ética, bom senso, segurança.

Para exemplificar duas instanciações empregando inteligência artificial (HAZIRBAS, et al., 2022) em imagens serão apresentadas na figura 2 e 3 consequentemente, ressalta-se que a segunda usa o conceito de prompt negativo. A figura 2 cujo prompt “desenhe uma

floresta ao amanhecer com raios de sol dourados entre as árvores”.



Figura 2 – Floresta ao amanhecer.

Fonte: Imagem gerada por IA. Plataforma ChatGPT (2024).

Já a figura 3 “Desenhe uma imagem de crianças brincando em um parquinho CHATGPT. Desenvolvida no *Image Generator*. <https://chatgpt.com/g/g-pmuQfob8d-image-generator>. Nessa imagem não deve aparecer elementos como por exemplo bebidas alcoólicas ou material adulto” emprega o conceito de prompt negativo, na segunda parte da descrição do *prompt*, proibindo qualquer referência a elementos não desejados.



Figura 3 – Crianças brincando em um parquinho.

Fonte: Imagem gerada por IA. Plataforma ChatGPT (2024).

Os avanços no campo da inteligência artificial têm sido marcados pela evolução contínua de métodos e ferramentas capazes de lidar com desafios cada vez mais complexos. Dentro desse panorama, as redes neurais ocupam uma posição central, servindo como a base para o desenvolvimento de soluções inovadoras em diversas áreas, como visão computacional, processamento de linguagem natural e sistemas generativos.

A evolução das redes neurais, desde os modelos clássicos até as arquiteturas

modernas, reflete o amadurecimento das técnicas de aprendizado de máquina e das capacidades computacionais. Essa progressão será abordada nos capítulos subsequentes, com uma análise detalhada dos principais tipos de redes neurais e suas aplicações práticas, estabelecendo as bases para a compreensão das tecnologias que estão moldando o futuro da inteligência artificial.

2 | REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Dada a relevância das redes neurais no contexto do aprendizado de máquina e suas diversas aplicações, é necessário analisar suas principais arquiteturas e como elas se integram ao desenvolvimento de sistemas inteligentes. A evolução dessas redes reflete avanços teóricos e computacionais, resultando em modelos que vão desde os clássicos até os mais sofisticados, como os *Transformers*.

As diferentes arquiteturas são projetadas para abordar problemas específicos e explorar padrões complexos nos dados, desempenhando um papel central em áreas como visão computacional, processamento de linguagem natural e sistemas generativos. A seguir, serão apresentados os principais tipos de redes neurais, com ênfase em suas características estruturais, métodos de aprendizado e aplicações práticas.

2.1 Redes neurais clássicas

As primeiras redes neurais eram baseadas na arquitetura ***Perceptron***, um modelo matemático simples introduzido por Frank Rosenblatt nos anos 1950. Essas redes consistiam em um único neurônio ou em uma camada simples de neurônios, capazes de resolver problemas linearmente separáveis. Contudo, eram limitadas devido à incapacidade de resolver problemas não lineares, como demonstrado no livro ***Perceptrons*** de Marvin Minsky e Seymour Papert citado em (Haykin, 2009).

Para o aprendizado das redes neurais clássicas, e as demais técnicas de aprendizado de máquina é necessário entender como funciona um neurônio artificial, inspirado no biológico

Para superar essas limitações:

- Surgiram os ***Perceptrons Multicamadas (MLPs)***, que introduziram camadas ocultas.
- O algoritmo de ***retropropagação do erro (backpropagation)***, popularizado nos anos 1980 por Rumelhart, Hinton e Williams, permitiu o treinamento eficiente dessas redes, ajustando os pesos com base nos gradientes do erro.

2.2 Redes neurais convolucionais (CNNS)

Anteriormente a classificação de imagens era feita por análise de pixels, entretanto computacionalmente muitos casos se tornavam enviáveis. A melhor solução para tratamento de imagens está na extração de características.

Nos anos 1990, as redes convolucionais ganharam destaque com a introdução do **LeNet** por Yann LeCun. As CNNs são especializadas para **visão computacional** e foram projetadas para capturar padrões espaciais em dados visuais (Li, 2011). Suas principais características incluem:

- **Camadas convolucionais**, que aprendem filtros para detectar bordas, texturas e objetos.
- **Pooling**, para redução da dimensionalidade e maior eficiência computacional.

Nos anos 2010, arquiteturas como **AlexNet** (2012), **VGG** e **ResNet** revolucionaram o campo, aproveitando avanços no hardware (GPUs) e grandes conjuntos de dados como o *ImageNet*.

Anteriormente a classificação de imagens era feita por análise de pixels, entretanto computacionalmente muitos casos se tornavam enviáveis. A melhor solução para tratamento de imagens está na extração de características (TAN, 2019).

Detalhado as etapas para reconhecimento de um gato em uma rede convolucional pré-treinada, observando que existe a possibilidade de treinamento da mesma, entretanto devido a restrição de tamanho do texto, essa opção não será escopo.

De modo resumido Imagem do gato → Pré-processamento → Convolução → *Pooling* → Extração de características profundas → Classificação em Fully Connected → Probabilidade da classe “gato” (PARKHI, et al 2012).

A imagem ilustra o fluxo típico de uma Rede Neural Convolucional (CNN) aplicada a um problema de classificação de imagens. Vamos detalhar cuidadosamente cada um dos blocos, descrevendo o papel e as transformações que ocorrem em cada etapa:

1. Entrada (Input):

A camada de entrada recebe a imagem original em formato bruto, por exemplo, uma imagem colorida de tamanho fixo (como 32x32x3, 64x64x3 etc. dependendo da aplicação). Cada pixel da imagem é convertido em um conjunto de valores numéricos — normalmente, intensidade dos canais de cor (vermelho, verde e azul).

- A partir dessa imagem, a rede vai extrair padrões cada vez mais complexos ao longo das camadas seguintes.

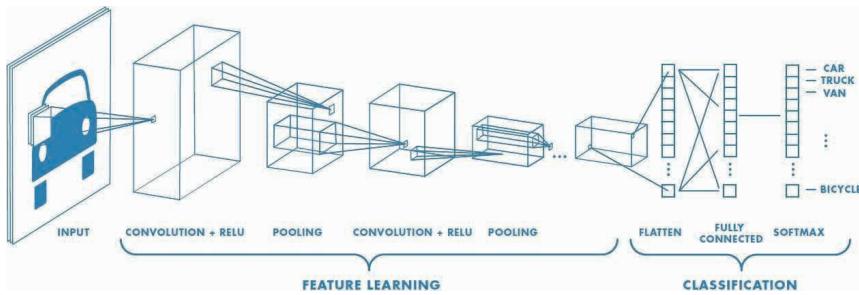


Figura 3 – Camadas de uma rede convolucional clássica.

Fonte: YAIMING, 2023

2. Camada de Convolução (Convolution) + Função de Ativação (ReLU):

A camada de convolução aplica um conjunto de filtros (também chamados de kernels) sobre a imagem de entrada. Cada filtro é um pequeno bloco de pesos aprendíveis (por exemplo, 3x3 ou 5x5) que é deslizado pela imagem. Ao aplicar o filtro, produz-se um mapa de características (*feature map*).

- Cada filtro “foca” em um tipo específico de padrão local, como bordas, texturas, curvas ou cantos. Quanto mais avançamos nas camadas, mais complexos esses padrões se tornam.
- Após a convolução, é comum aplicar uma função de ativação não linear, como a ReLU (*Rectified Linear Unit*), que transforma valores negativos em zero e mantém os positivos. Isso torna o modelo mais potente ao introduzir não-linearidade.

3. Camada de Pooling:

Depois da convolução, normalmente aplica-se uma camada de *pooling*, como *Max Pooling*. O objetivo do *pooling* é reduzir a dimensionalidade espacial (altura e largura) dos mapas de características, mantendo as informações mais relevantes.

- Por exemplo, o *Max Pooling* de tamanho 2x2 pega blocos 2x2 do mapa de características e seleciona o valor máximo desses 4 pixels. Isso reduz a resolução espacial do mapa de características pela metade, mas mantém características fortes.
- A redução de dimensionalidade ajuda a diminuir a quantidade de parâmetros e a complexidade da rede, além de conferir invariança a pequenas variações na posição dos padrões da imagem.

4. Repetição dos Blocos Convolucionais + Pooling:

A rede pode ter várias camadas convolucionais seguidas por camadas de *pooling*. A cada etapa, os filtros convolucionais extraem características mais complexas:

- Nas primeiras camadas, os filtros detectam bordas, contornos simples e textu-

ras básicas.

- Em camadas mais profundas, os filtros podem reconhecer partes de objetos ou padrões mais específicos.
- A combinação dessas operações gera mapas de características mais ricos e informativos, porém com dimensão espacial reduzida.

5. *Flatten* (Achatamento):

Depois que passamos por várias camadas convolucionais e de *pooling*, a saída final dessa etapa ainda é um conjunto de mapas de características bidimensionais. A operação de *flatten* transforma esses mapas em um vetor unidimensional.

- Esse vetor agrupa todos os valores presentes nos mapas de características finais em uma única estrutura linear, que servirá como entrada para as camadas totalmente conectadas.

6. Camadas Totalmente Conectadas (*Fully Connected Layers*):

As camadas totalmente conectadas (também chamadas de densas ou *feed-forward*) funcionam de forma similar a uma rede neural tradicional, onde cada neurônio está ligado a todos os neurônios da camada anterior.

- Essas camadas combinam as características extraídas pelas camadas convolucionais para produzir uma representação de alto nível que ajudará a decidir a classe da imagem.
- Geralmente, nessas camadas, também são aplicadas funções de ativação (como *ReLU*) e, às vezes, camadas de regularização, como *Dropout*, para evitar *overfitting*.

7. Camada de Saída (*Softmax*):

A última camada do modelo é normalmente uma camada totalmente conectada seguida de uma função de ativação *softmax* (no caso de classificação multiclasse).

- O *softmax* pega o vetor de pontuações produzidas pela última camada densa e converte em probabilidades (valores entre 0 e 1 que somam 1).
- Cada saída do *softmax* corresponde à probabilidade de a imagem pertencer a uma determinada classe (carro, caminhão, van, bicicleta etc.).

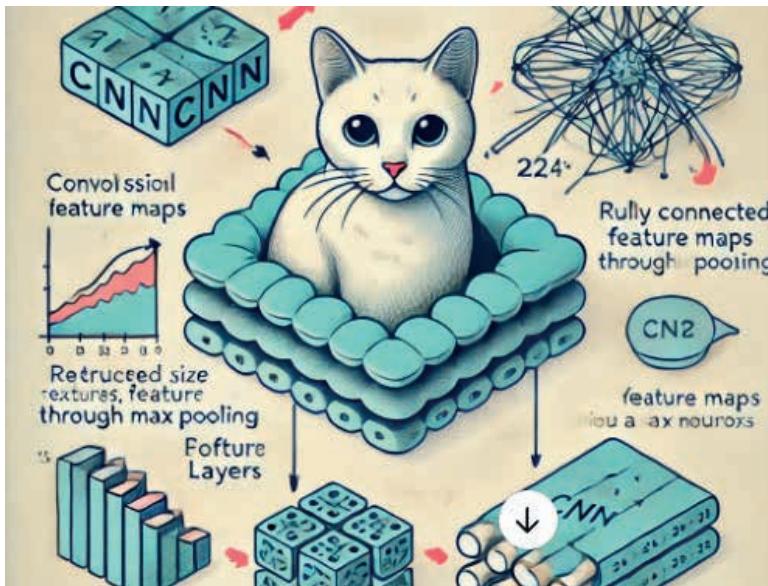


Figura 4 – Representação da classificação de imagem através de uma CNN.

Fonte: Imagem gerada por IA. Plataforma ChatGPT (2024).

Embora as CNNs sejam altamente eficientes, suas limitações em capturar dependências de longo alcance em dados sequenciais motivaram o desenvolvimento de outras abordagens, como redes baseadas em atenção e *Transformers*. Uma das CNNs de bastante empregada na literatura é a YOLO.

o YOLO (*You Only Look Once*) é um modelo de detecção de objetos baseado em uma arquitetura de rede neural convolucional. A partir de versões iniciais como YOLOv1 até as mais recentes (YOLOv7, YOLOv8 etc.), a idéia central é usar uma única rede para prever *bounding boxes* e classes de objetos simultaneamente. Diferentemente de abordagens anteriores, em que o processo de detecção era dividido em etapas – por exemplo, um modelo gera propostas de regiões e outro classifica cada região –, o YOLO realiza a detecção “de uma só vez” (daí o nome), o que o torna extremamente rápido.

Resumidamente, o YOLO funciona da seguinte forma:

- 1. Entrada:** Uma imagem é fornecida à rede.
- 2. Extração de Características:** Por meio de camadas convolucionais, a rede extrai mapas de características relevantes da imagem.
- 3. Predição de Bounding Boxes e Classes:** As camadas finais da rede geram previsões simultâneas sobre a localização (coordenadas) e a probabilidade de cada classe para vários “*anchor boxes*”.
- 4. Filtragem de Resultados:** As detecções redundantes ou com baixa confiança são removidas por meio de técnicas como *Non-Maximum Suppression* (NMS).

Por ser uma CNN otimizada para detecção, o YOLO é conhecido por seu bom balanceamento entre velocidade e precisão, o que o torna ideal para aplicações em tempo real, como sistemas de vigilância, robótica e visão computacional embarcada em dispositivos móveis (ZHAO; QIAO,2023).

2.3 Redes baseadas em atenção

As redes baseadas em atenção introduziram uma nova forma de lidar com dados sequenciais, permitindo que o modelo destaque elementos mais relevantes da entrada para a tarefa. Esse mecanismo, inicialmente proposto por Bahdanau et al. (2014) no contexto de modelos Seq2Seq com Atenção, aprimorou o alinhamento dinâmico entre entrada e saída, superando dificuldades das RNNs em capturar dependências de longo alcance.

A atenção expandiu-se para diversas áreas, desde PLN (tradução, sumarização, respostas a perguntas) até visão computacional (segmentação, detecção de objetos) e domínios como bioinformática e finanças. A limitação das RNNs em termos de eficiência e paralelismo levou ao surgimento de arquiteturas exclusivamente baseadas em atenção, culminando nos Transformers (Vaswani et al., 2017). Esses modelos estabeleceram um novo patamar, eliminando a recorrência e melhorando significativamente a performance em tarefas sequenciais.

2.4 Redes transformers

Os *Transformers*, introduzidos no artigo “*Attention is All You Need*” (Vaswani et al., 2017), revolucionaram o campo da inteligência artificial ao estabelecer um novo paradigma no processamento de dados sequenciais. Essa arquitetura eliminou a necessidade de estruturas recorrentes, como nas redes neurais recorrentes (RNNs), ao utilizar exclusivamente mecanismos de atenção. Essa abordagem trouxe melhorias significativas em desempenho e eficiência computacional, redefinindo o estado da arte em várias aplicações.

O principal avanço dos *Transformers* está no uso da Atenção Multi-Cabeças (*Multi-Head Attention*), que permite ao modelo processar diferentes partes de uma sequência simultaneamente, capturando dependências complexas entre os elementos. Além disso, a arquitetura é composta por componentes modulares como Codificadores e Decodificadores (*Encoders* e *Decoders*), projetados para transformar a entrada em representações intermediárias e, posteriormente, gerar a saída correspondente. Um elemento essencial é o *Positional Encoding*, que incorpora informações sobre a ordem sequencial dos dados, algo crítico em tarefas como tradução automática e modelagem de linguagem.

Entre as principais vantagens dos *Transformers*, destacam-se:

- **Paralelização durante o treinamento:** A ausência de recorrência possibilita

maior aproveitamento do poder computacional de *GPUs* e *TPUs*, reduzindo o tempo necessário para treinar modelos grandes.

- **Captura de dependências de longo alcance:** O mecanismo de atenção facilita a identificação de relações entre elementos distantes na sequência, superando limitações das RNNs e LSTMs.

A arquitetura do *Transformer* é altamente flexível e extensível, permitindo adaptações para diferentes domínios. Alguns dos modelos derivados mais relevantes incluem:

- **BERT (2018):** Projetado para tarefas de compreensão de texto, como análise de sentimentos e perguntas e respostas.
- **GPT (2018-2023):** Focado na geração de texto e modelos de linguagem geral.
- **Vision Transformers (ViT):** Adaptado para processamento de imagens, utilizando atenção em substituição a convoluções tradicionais.

O funcionamento do *Transformer* pode ser resumido nas seguintes etapas:

1. **Entrada e Representação Inicial:** A sequência de entrada é convertida em vetores contínuos (embeddings), aos quais são adicionados os embeddings posicionais, que preservam a ordem dos elementos na sequência.
2. **Codificador (Encoder):** É composto por múltiplas camadas idênticas, cada uma contendo:
3. **Atenção Multi-Cabeças:** Calcula a relevância entre todos os tokens na sequência de entrada.
4. **Rede Feedforward:** Processa individualmente os tokens após a atenção, aplicando transformações não lineares.
5. **Camadas de Normalização e Dropout:** Estabilizam o treinamento e reduzem o risco de *overfitting*.
6. **Decodificador (Decoder):** Similar ao codificador, mas com adaptações específicas:
7. **Atenção Mascarada:** Garante que os tokens futuros não sejam considerados durante a geração, preservando a causalidade.
8. **Atenção ao Codificador:** Integra o contexto da sequência de entrada ao processamento da saída parcial.
9. **Rede Feedforward e Normalização:** Operam como no codificador.
10. **Saída e Geração:** A camada final do decodificador aplica uma função *softmax* para converter as representações em probabilidades, prevendo o próximo token ou elemento na sequência.
11. **Treinamento:** O modelo é otimizado utilizando funções de perda, como a entropia cruzada, para minimizar os erros na previsão dos *tokens*.

A evolução das redes neurais reflete um ciclo contínuo de inovação. Os *transformers*

representam o auge atual dessa evolução, sendo aplicados a uma ampla gama de domínios, mas a pesquisa continua avançando em busca de arquiteturas mais eficientes e capazes.

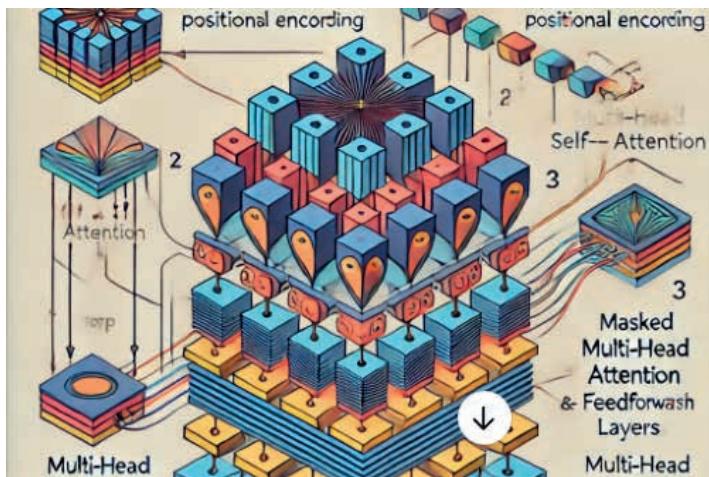


Figura 5 – Representação do sequenciamento de dados através de uma rede transformers.

Fonte: Imagem gerada por IA. Plataforma ChatGPT (2024).

3 | CONCLUSÃO

O estudo analisou fundamentos e práticas da inteligência artificial com foco em arquiteturas de redes neurais, cobrindo desde modelos clássicos (perceptrons multicamadas, redes convolucionais) até abordagens mais recentes (redes baseadas em atenção, Transformers). Utilizando Python para implementações, o trabalho demonstrou aplicações práticas, ressaltando a evolução das redes neurais, a influência do aprendizado profundo em visão computacional e processamento de linguagem natural, e a importância da engenharia de prompts para personalização e controle criativo de modelos gerativos.

Ao longo do texto, casos práticos e experimentos computacionais ilustraram a relevância das técnicas, bem como suas limitações (alto custo computacional, desafios de treinamento em larga escala). Como perspectivas futuras, destaca-se o desenvolvimento de frameworks para otimizar a engenharia de prompts e a integração de modelos baseados em atenção com arquiteturas híbridas, visando maior eficiência, acessibilidade e desempenho preditivo.

REFERÊNCIAS

BAHDANAU, Dzmitry; CHO, Kyunghyun; BENGIO, Yoshua. *Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate*. 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1409.0473>. Acesso em: 8 dez. 2024.

CHATGPT. Image Generator. Disponível em: <https://chatgpt.com/g/g-pmuQfob8d-image-generator>. Acesso em: 13 dez. 2024.

DUTT, V.; SASUBILLI, S. M.; YERRAPATI, A. E. Dynamic Information Retrieval with Chatbots: A Review of Artificial Intelligence Methodology. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMMUNICATION AND AEROSPACE TECHNOLOGY (ICECA)**, 2022, Coimbatore, India. Anais... Coimbatore: IEEE, 2022. p. 1299–1303.

HAYKIN, Simon. **Neural Networks and Learning Machines**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2009.

HAZIRBAS, C.; BITTON, J.; DOLHANSKY, B.; PAN, J.; GORDO, A.; FERRER, C. C. **Towards measuring fairness in AI: the casual conversations dataset**. *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*, v. 4, n. 3, p. 324-332, jul. 2022. DOI: 10.1109/TBIM.2021.3132237.

LI, H. Computer network connection enhancement optimization algorithm based on convolutional neural network. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY (NETCIT)**, 2021, Manchester, United Kingdom. Anais... Manchester: IEEE, 2021. p. 281-284. DOI: 10.1109/NetCIT54147.2021.00063.

MENDONÇA, M.; KONDO, H. S.; BOTONI DE SOUZA, L.; PALÁCIOS, R. H. C.; SILVA DE ALMEIDA, J. P. L. Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps. In: **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS (FUZZ-IEEE)**, 2019, New Orleans, LA, USA. Anais... [S. I.: s. n.], 2019. p. 1-8.

MENDONÇA, Márcio et al. Inteligência artificial aplicada: engenharia de prompt para otimização de trabalhos com ChatGPT. In: *Ciência e tecnologia: catalisadores da inovação*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024. Cap. 2, p. 13-26.

PARKHI, O. M.; VEDALDI, A.; ZISSELMAN, A.; JAWAHAR, C. V. Cats and Dogs. In: **IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION**, 2012. Anais... [S. I.: s. n.], 2012.

PASSINO, M. K.; YOURKOVICH, S. **Fuzzy Control**. Menlo Park: Addison-Wesley, 1997.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. (Eds.). **Springer Handbook of Robotics**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

TAN, M.; LE, Q. V. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING**, 2019. Anais... [S. I.: s. n.], 2019.

VASWANI, Ashish et al. *Attention Is All You Need*. 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>. Acesso em: 8 dez. 2024.

YAIMING, Yao. Research on facial recognition system based on deep learning. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND AUTOMATION**, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.54254/2755-2721/34/20230332>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ZHAO, T.; QIAO, N. **Research on Target Detection Technology of Aircraft Satellite Images Based on Improved YOLOv5 Model**. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA & ARTIFICIAL INTELLIGENCE & SOFTWARE ENGINEERING (ICBASE)**, 4., 2023, Nanjing, China. Nanjing, 2023. p. 89-94. DOI: 10.1109/ICBASE59196.2023.1030317

CAPÍTULO 7

INTEGRAÇÃO DOS PROGRAMAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PORTUÁRIO: UM ESTUDO NA BAÍA DA BABITONGA, SC

Data de submissão: 12/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Jéssica Cristine de Mira

Eng. Coordenadora de Sustentabilidade
do Terminal Portuário Santa Catarina -
TESC

Tatiana da Cunha Gomes Leitzke

MsC. Professora da Universidade da
Região de Joinville - Univille

Paulo Marcondes Bounsfild

MsC. Professor da Universidade da
Região de Joinville - Univille

Jaqueline Leal Madruga

Dra. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
dos Recursos Naturais Renováveis -
IBAMA

Therezinha Maria Novais de Oliveira

Dra. Professora da Universidade da
Região de Joinville - Univille

RESUMO: O licenciamento ambiental é um instrumento legal e específico para cada empreendimento, resultando, muitas vezes, na elaboração de planos de monitoramento semelhantes para uma mesma região. Isso gera um grande volume de dados, com diferenças metodológicas, já que cada empresa realiza ou terceiriza a execução

desses serviços de forma independente. Essa fragmentação dificulta a análise integrada por parte do órgão ambiental e compromete a qualidade ambiental da região de entorno dos empreendimentos. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar um modelo de monitoramento ambiental integrado, tomando como estudo de caso a região portuária da Baía da Babitonga, em São Francisco do Sul - SC. A pesquisa propõe a integração dos programas de monitoramento ambiental de três terminais portuários (Porto Público, Porto Itapoá e TESC), com base na análise de dados secundários sobre sobreposição de informações, metodologias e periodicidades. Além disso, o estudo ressalta a importância da articulação entre os empreendimentos para uma gestão ambiental mais eficiente e eficaz. Os resultados indicam a viabilidade de reduzir a burocracia e otimizar o processo de licenciamento ambiental, promovendo uma gestão mais integrada e sustentável na região.

PALAVRAS-CHAVE: Empreendimentos Portuários, Gestão ambiental, Integração, Licenciamento ambiental, Sobreposição de dados.

INTRODUÇÃO

Os **programas de monitoramento ambiental** exigidos nos processos de licenciamento de atividades portuárias, quando realizados em uma mesma região, são conduzidos individualmente por cada empreendimento, ainda que se sobreponham na mesma área de abrangência. Essa prática resulta na **duplicação de malhas amostrais** e na **repetição de procedimentos**, com cada empreendimento contratando empresas distintas para a execução das coletas e análises.

Como consequência, surgem **discrepâncias nas metodologias, periodicidades e procedimentos analíticos**, além de diferenças nas equipes de profissionais e laboratórios responsáveis pelas análises. Isso gera um **grande volume de dados fragmentados**, o que dificulta a **gestão e a análise integrada dos dados** por parte do órgão ambiental (IBAMA, 2013).

O **elevado volume de informações** e a **limitação do corpo técnico** dos órgãos ambientais expõem as fragilidades do atual modelo de licenciamento ambiental no Brasil. O processo de licenciamento é frequentemente apontado como uma **agenda negativa**, associado a **entraves ao desenvolvimento econômico**, onde termos como “burocracia”, “restrições” e “impedimentos” são recorrentes nos debates. No entanto, o licenciamento ambiental é uma **ferramenta essencial de gestão pública**, indispensável para assegurar o **equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental** (COSTA; KLUG; PAULSEN, 2017).

De acordo com Costa, Klug e Paulsen (2017), dois desafios centrais do licenciamento ambiental merecem destaque: a **produção de estudos longos e com pouca informação relevante** e o **excesso de condicionantes**, frequentemente associado à falta de acompanhamento e avaliação de sua efetividade. Nesse cenário, surge a necessidade de **reformular o processo de licenciamento**, de forma a permitir uma **melhor estruturação dos programas de monitoramento ambiental**. **Monitorar apenas “por monitorar” é ineficaz**, assim como realizar monitoramentos distintos para cada impacto possível pode se mostrar **economicamente inviável** (MAGNUSSON et al., 2013).

Para superar essas limitações, a literatura aponta como solução a **integração dos programas de monitoramento ambiental** entre os empreendimentos de uma mesma área de abrangência. Essa abordagem permite a **execução conjunta dos monitoramentos**, a **harmonização de metodologias** e a **compilação dos dados em relatórios integrados**, facilitando o trabalho dos órgãos licenciadores e promovendo **maior eficiência na análise dos impactos ambientais** (IBAMA, 2022).

A **área portuária** se apresenta como um ambiente **estratégico para a aplicação de programas de monitoramento integrado**, pois grande parte dos empreendimentos portuários ocorre em **baías e estuários**, ecossistemas de alta relevância socioambiental. Essas áreas estão sob forte pressão de uso e ocupação por diversas atividades humanas,

o que demanda uma **gestão ambiental mais efetiva e articulada**. Nesse contexto, torna-se crucial adotar uma abordagem integrada, especialmente devido à multiplicidade de interesses e aos potenciais conflitos socioambientais que emergem nesses territórios (IBAMA, 2013).

Um exemplo emblemático dessa situação é a **Baía da Babitonga**, localizada no litoral norte do Estado de Santa Catarina. A região abrange **seis municípios** e possui **três portos em operação**, com previsão de instalação de novos terminais portuários. Trata-se de uma área de **alta relevância ecológica e econômica**, marcada por conflitos entre **a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico**. Esses conflitos envolvem questões relacionadas à **proteção de espécies ameaçadas**, à **preservação do patrimônio histórico**, ao **controle da contaminação ambiental** e à **garantia dos direitos das populações tradicionais** (IBAMA, 2013).

Diante dessa realidade, a **Baía da Babitonga** se apresenta como uma área **propícia para a aplicação de uma abordagem integrada de monitoramento ambiental**. Essa integração visa promover o **acompanhamento sinérgico das operações portuárias**, facilitar a **mediação dos conflitos de uso** com outras atividades econômicas e assegurar a **manutenção dos serviços ecossistêmicos**. Com uma visão integrada, torna-se possível mitigar os impactos negativos e potencializar os **benefícios do desenvolvimento sustentável** na região.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo **avaliar as vantagens e as desvantagens de um programa de monitoramento ambiental integrado** aplicado à **área de abrangência portuária da Baía da Babitonga**. Para isso, o estudo propõe a análise de um **modelo de monitoramento ambiental integrado**, utilizando como estudo de caso a **região portuária de São Francisco do Sul - SC**. Espera-se que as contribuições desta pesquisa apoiem os **processos de licenciamento e a gestão ambiental**, promovendo **maior eficiência e eficácia na preservação do meio ambiente** e no **desenvolvimento sustentável da região**.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de abrangência dos Planos de Monitoramento dos portos analisados neste estudo corresponde à Baía da Babitonga, localizada no litoral norte de Santa Catarina. Esta baía é cercada pelos municípios de Itapoá, Joinville, São Francisco do Sul, Garuva, Araquari e Balneário Barra do Sul (Figura 01), abrangendo uma área total de 160 km². Sua profundidade média é de 6 metros, podendo alcançar até 27 metros em pontos específicos, como no canal de acesso ao Porto de São Francisco do Sul.

A Baía da Babitonga se destaca no contexto das regiões estuarinas de Santa Catarina, sendo uma das áreas mais representativas do Estado em termos de cobertura

de manguezais. Essa formação ocupa uma área de aproximadamente 6.200 hectares, inserida nos 160 km² da baía, caracterizando-se como a maior formação de manguezal do estado (Acquaplan, 2022).

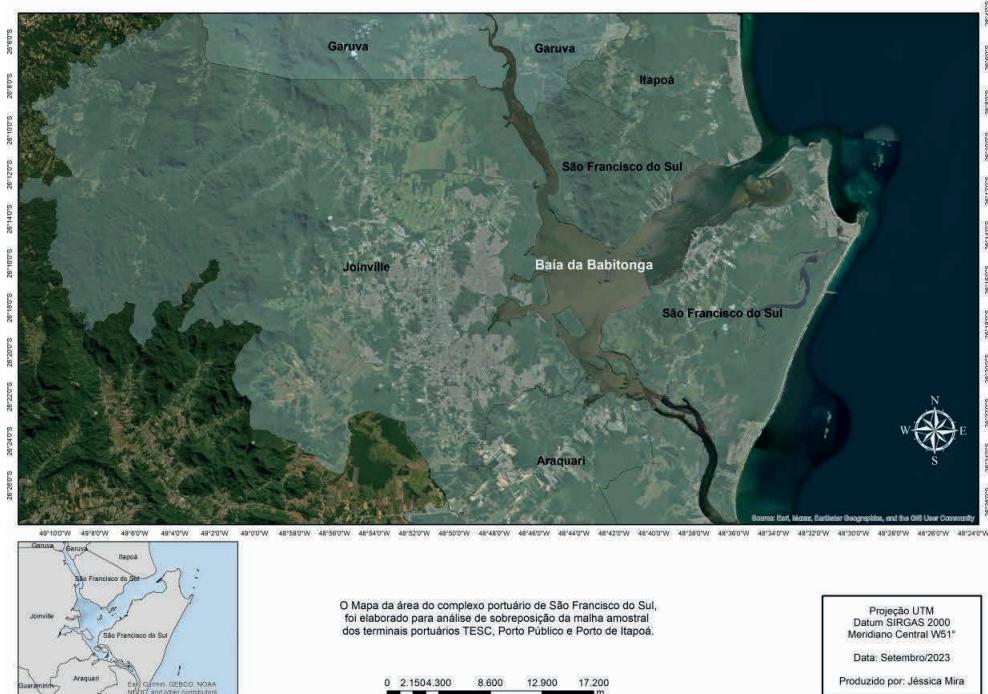


Figura 01: Localização da área de estudo - Baía da Babitonga

Além dos manguezais, a área possui uma densa rede hidrográfica e 24 ilhas catalogadas, algumas das quais têm ocupação humana ou funcionam como atrativos turísticos. Dentre elas, destacam-se as ilhas do Mel, Murta, Grande, Corisco, Rita e Flores, esta última sendo uma das mais visitadas por conta de sua faixa de areia acessível (MMA, 2018).

A baía é dividida em três setores ou canais:

Setor Principal: Corresponde à Baía propriamente dita e recebe as águas dos outros dois setores;

Setor Palmital: Localizado ao norte;

Setor Linguado: Situado ao sul, separando a ilha de São Francisco do Sul do continente e desaguando no Balneário Barra do Sul (MMA, 2018).

A Baía da Babitonga também desempenha um papel crucial para a biodiversidade, sendo habitat de diversas espécies ameaçadas de extinção, como a toninha (*Pontoporia blainvilliei*), o boto-cinza (*Sotalia guianensis*), a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), o mero (*Epinephelus itajara*), o bagre-branco (*Genidens barbus*) e o bicudinho-do-brejo

(*Stymphalornis acutirostris*), entre outras. O estuário é fundamental para a pesca recreativa e comercial, já que cerca de 70% das espécies visadas para essas atividades se reproduzem na área (IBAMA, 2021).

Além disso, a Portaria nº 463/2018 do Ministério do Meio Ambiente classifica a Baía da Babitonga como uma “Área Prioritária para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade”, destacando sua importância estratégica para a preservação ambiental e o uso sustentável de seus recursos naturais.

SELEÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

Para a avaliação do modelo de monitoramento ambiental integrado, foi realizado um levantamento de todos os empreendimentos portuários instalados na Baía da Babitonga, bem como os processos de licenciamento ambiental em andamento. Essa análise permitiu identificar o estágio de cada empreendimento no processo de licenciamento e sua relevância para a pesquisa.

A seleção dos empreendimentos focou nos terminais que já possuem a **Licença de Operação (LO)**, pois esses empreendimentos estão em uma fase operacional avançada e já realizam os monitoramentos ambientais exigidos pelo **Plano de Controle Ambiental (PCA)**, conforme as condicionantes estabelecidas pelo **IBAMA**. Com isso, foi possível acessar e analisar os dados gerados ao longo de toda a operação desses terminais.

Os **três terminais selecionados** para o estudo foram:

- **SCPPar Porto de São Francisco do Sul**;
- **Itapoá Terminais Portuários S.A.**;
- **TESC – Terminal Santa Catarina S/A**.

SELEÇÃO DOS PROGRAMAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Para a identificação dos programas de monitoramento ambiental dos terminais, foi realizada uma **análise documental dos processos de licenciamento ambiental**. Essa análise envolveu a consulta às licenças de operação, relatórios consolidados e anexos submetidos anualmente ao órgão ambiental por meio do **Sistema Eletrônico de Informações (SEI-IBAMA)**.

O acesso a esses documentos foi obtido mediante a criação de um cadastro de usuário externo no sistema **SEI-IBAMA**, e, após a autorização, foi possível realizar o download de todos os arquivos necessários para a análise.

Os programas de monitoramento foram classificados em três categorias:

- **Meio Biótico** (fauna e flora);
- **Meio Físico** (qualidade da água, sedimentos etc.);

- **Meio Socioeconômico** (impactos socioeconômicos na região).

Foram considerados os programas que apresentavam **sobreposição entre os três terminais**, ou seja, aqueles que eram executados de forma semelhante em termos de periodicidade, metodologia e parâmetros analisados. A partir disso, foi possível identificar as oportunidades de integração e colaboração na execução dos monitoramentos.

ANÁLISE DOS DADOS DOS PROGRAMAS SELECIONADOS

Com os programas de monitoramento selecionados, iniciou-se a **extração e análise dos dados**, que incluiu as seguintes informações:

- **Malha amostral** (localização dos pontos de coleta);
- **Quantidade de amostras** (número de amostragens realizadas);
- **Periodicidade das coletas** (frequência das campanhas de coleta);
- **Procedimentos amostrais** (métodos utilizados para coleta e análise);
- **Parâmetros analisados** (variáveis físicas, químicas e biológicas);
- **Procedimentos laboratoriais** (laboratórios contratados e métodos de análise).

Os dados foram consolidados em uma **base de dados no Microsoft Excel**, onde foi realizada uma análise comparativa entre os três terminais. Os dados foram organizados em gráficos e tabelas para facilitar a visualização de padrões e sobreposições de informações. Para a análise espacial, foi utilizado o software de mapeamento **ArcGIS**, que permitiu a criação de mapas de sobreposição da malha amostral. Essa abordagem possibilitou a identificação de áreas de coleta comuns e duplicações de esforço, apontando oportunidades de integração dos programas de monitoramento.

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE PROGRAMAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO

Por fim, foi realizada uma **avaliação crítica da implementação de um programa de monitoramento ambiental integrado**. Essa avaliação considerou os seguintes aspectos:

- **Sobreposição de parâmetros**: Verificação de quais parâmetros estão sendo monitorados de forma redundante entre os três terminais;
- **Pontos de amostragem sobrepostos**: Identificação de pontos de coleta comuns entre os portos, possibilitando a redução de esforços duplicados;
- **Otimização de recursos financeiros**: Cálculo dos custos evitáveis pela realização de uma coleta integrada;
- **Eficiência da análise ambiental**: Redução da carga de trabalho para os órgãos licenciadores, evitando a revisão de relatórios redundantes;

- **Possíveis desafios de governança:** Avaliação dos desafios para a articulação entre os portos, como financiamento e responsabilidade compartilhada.

Para mensurar a eficácia do modelo, foram analisados os aspectos positivos e negativos da implementação de um **Plano de Monitoramento Ambiental Integrado** na área portuária da **Baía da Babitonga**. Entre os benefícios previstos, destaca-se a **redução da duplicidade de coletas e análises**, a **padronização de metodologias** e a **centralização dos dados** em uma plataforma acessível aos órgãos de fiscalização e aos empreendedores.

ASPECTOS POSITIVOS:

- **Redução de custos operacionais;**
- **Otimização de recursos técnicos e financeiros;**
- **Melhoria da gestão de dados ambientais;**
- **Facilitação da análise de impactos sinérgicos e cumulativos.**

ASPECTOS NEGATIVOS:

- **Desafios de governança e articulação interinstitucional;**
- **Necessidade de padronização de metodologias entre os empreendimentos;**
- **Risco de resistência por parte das empresas e do próprio órgão fiscalizador.**

Dessa forma, o trabalho se propõe a apontar **caminhos viáveis para a implementação de um modelo de monitoramento ambiental integrado** que contribua para uma gestão mais eficiente, eficaz e sustentável da **Baía da Babitonga**, otimizando recursos, facilitando a tomada de decisão e promovendo o desenvolvimento econômico em harmonia com a conservação ambiental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, realizou-se a discussão dos resultados da pesquisa conduzida no âmbito deste trabalho, seguidos por uma discussão que buscou analisar e interpretar os achados obtidos. Os resultados aqui apresentados são fruto de um processo de coleta e análise de dados, que visou responder ao objetivo deste trabalho. Ao longo deste item serão destacadas as descobertas mais significativas, avaliadas suas implicações e contextualizadas dentro do escopo do trabalho.

Somente na esfera federal, vem sendo conduzidos 09 (nove) processos de

licenciamento ambiental na Baía da Babitonga, em diferentes estágios, conforme apresentado na Tabela 1.

Empreendimento	Empreendedor	Processo	Fase Atual
Terminal Portuário Itapoá	Itapoá Terminais Portuários S.A.	02001.005184/98 14	LO nº 1030/2011 7ª Retificação
Terminal Portuário Itapoá - Ampliação	Itapoá Terminais Portuários S.A.	02001.003033/2009-73	LI nº 1455/2022
Porto SFS - Regularização	SCPPar Porto de São Francisco do Sul	02001.005796/2004 44	LO nº 548/2006 2ª Renovação
Porto SFS - Berço 401	SCPPar Porto de São Francisco do Sul	02001.015627/2019-07	Requerimento de LP (aguardando EIA)
Porto SFS - Aprofundamento do canal	SCPPar Porto de São Francisco do Sul	02001.002171/2014-01	Requerimento de LP (fase de complementações de EIA)
Mar Azul - Centro de Distribuição	Mar Azul Logística, Armazenamento, Centro de Distribuição Terminal e Transporte S.A.	02001.000830/2009-0	
Mar Azul - Terminal Marítimo	Mar Azul Logística, Armazenamento, Centro de Distribuição Terminal e Transporte S.A.	02001.005368/2008-45	LI nº 1350/2020
Terminal de Granéis de Santa Catarina (TGSC)	Centro de Distribuição Terminal e Transporte S.A.	02001.006995/2008-01	LI nº 1404/2021
Terminal Santa Catarina (TESC)	Terminal de Granéis de Santa Catarina S.A.	02001.003264/2011-007	LO nº 1469/2018 2ª Retificação nº 1351/2020

Tabela 1 – Licenciamentos Ambientais conduzidos pelo IBAMA na Baía da Babitonga, Santa Catarina

Os terminais estudados foram: SCPPar Porto de São Francisco do Sul, Itapoá Terminais Portuários S.A. e TESC - Terminal Santa Catarina S/A de acordo com a Figura 02.



Figura 02: Localização dos Portos em funcionamento na Baía da Babitonga

Fonte: Ambient (2023).

Os três terminais selecionados para o estudo possuem **Licença de Operação (LO)** e implementam o **Plano de Controle Ambiental (PCA)** aprovado pelo **IBAMA**, o que reflete sua maturidade operacional e o estágio avançado de desenvolvimento e operação. Todos esses terminais já executam monitoramentos ambientais contínuos por mais de cinco anos, o que proporciona a existência de um **histórico consolidado de dados ambientais**, facilitando uma análise mais robusta e detalhada de seus processos, desempenho ambiental e identificação de áreas de melhoria.

Os terminais estão estrategicamente localizados no **Complexo Portuário da Baía da Babitonga**, uma área de águas tranquilas e condições estáveis para navegação e manobra ao longo do ano. A configuração portuária da região inclui o **Porto Organizado de São Francisco do Sul**, que abrange o **SCPar Porto de São Francisco do Sul** e o **Terminal Santa Catarina (TESC)**, além do **Terminal de Uso Privado (TUP) Itapoá Terminais Portuários S.A.**

PORTO ITAPOÁ

O **Porto Itapoá** iniciou suas operações em **junho de 2011** e se consolidou como um dos terminais de contêineres mais eficientes e modernos da **América Latina**. Administrado

por uma entidade privada, o terminal possui uma capacidade de movimentação de **1,2 milhão de TEUs por ano** (unidade equivalente a um contêiner de 20 pés), com previsão de expansão para atingir **2 milhões de TEUs anualmente** (PORTO DE ITAPOÁ, 2023). A infraestrutura avançada e a eficiência operacional posicionam o Porto Itapoá entre os principais do Brasil em movimentação de cargas conteinerizadas.

SCPAR PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL

O **SCPar Porto de São Francisco do Sul**, mencionado neste estudo como **Porto Público**, é uma **sociedade de economia mista** vinculada ao Estado de Santa Catarina, sendo subsidiária de **SC Participações e Parcerias (SCPar)**. A SCPar exerce a função de **Autoridade Portuária**, sendo responsável pela administração da infraestrutura e pela fiscalização das operações no **Complexo Portuário de São Francisco do Sul**. Esse terminal desempenha um papel relevante para o escoamento de cargas no sul do Brasil, oferecendo condições estáveis de navegação e operação segura (SCPAR, 2023).

TESC - TERMINAL SANTA CATARINA

O **TESC - Terminal Santa Catarina**, um terminal **privado** em operação há mais de **25 anos**, oferece serviços de operação portuária integrada, incluindo **armazenagem, nacionalização e distribuição de cargas**. O terminal é especializado na movimentação de **produtos siderúrgicos, granéis sólidos, cargas gerais e cargas de projeto**, o que lhe permite operar de forma flexível e diversificada. Recentemente, o TESC ampliou sua capacidade operacional para exportação de granéis agroalimentares, incorporando uma estrutura de **silos de armazenamento com capacidade de 90 mil toneladas, dois tombadores de caminhões e um sistema de embarque com capacidade de 2 mil toneladas/hora**, possibilitando a movimentação anual de até **2,5 milhões de toneladas** (TESC, 2023).

A seleção dos programas de monitoramento ambiental foi orientada pela **análise documental dos processos de licenciamento ambiental** disponíveis no **SEI-IBAMA**. A escolha dos programas se baseou na existência de pontos de convergência e semelhanças entre as práticas adotadas pelos três terminais portuários. O objetivo foi priorizar os programas que possibilitassem a análise de sobreposição e o potencial de integração.

Os programas selecionados para o estudo foram:

- **Programa de Monitoramento da Qualidade da Água;**
- **Programa de Monitoramento da Comunidade Planctônica;**
- **Programa de Monitoramento da Qualidade do Sedimento;**
- **Programa de Monitoramento da Macrofauna Bentônica;**

- **Programa de Monitoramento de Ruídos Subaquáticos;**
- **Programa de Monitoramento de Bioacumulação.**

A seleção desses programas permitiu uma análise abrangente dos impactos ambientais associados à operação portuária e possibilitou a identificação de **áreas de sobreposição de esforços** nos monitoramentos executados pelos terminais.

A análise dos dados dos programas de monitoramento seguiu uma abordagem **comparativa e visual**, utilizando ferramentas de visualização gráfica e sistemas de georreferenciamento. Para facilitar a compreensão dos padrões e identificar áreas de sobreposição, foram gerados **gráficos, tabelas e mapas de sobreposição** de pontos de amostragem.

Para avaliar a **sobreposição dos pontos de amostragem**, foi adotado um raio de **300 metros** entre os pontos pertencentes a diferentes terminais. Assim, mesmo que os pontos não fossem exatamente coincidentes, aqueles próximos o suficiente foram considerados sobrepostos. Esse critério permitiu identificar a duplicação de esforços e a redundância nas coletas de amostras.

Para quantificar o número de análises realizadas, foi considerada a **condição mínima de análise**, ou seja, o número de análises foi calculado multiplicando-se o **número de pontos**, o **número de campanhas de amostragem** e o **número de parâmetros analisados**. Essa abordagem não incluiu coletas em diferentes profundidades (superfície, meio e fundo), embora algumas campanhas incluam essas três camadas para garantir uma análise mais precisa e completa.

O monitoramento da **qualidade da água** visa verificar o estado das águas nas áreas diretamente afetadas pelas operações portuárias, com foco na caracterização da **estrutura da comunidade planctônica** (fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton). Esse monitoramento é essencial para detectar mudanças na biota aquática decorrentes de potenciais impactos portuários.

As **Figuras 03 e 04** ilustram comparações entre os **parâmetros de monitoramento**, a **malha amostral** (distribuição dos pontos de coleta) e as **campanhas amostrais** (periodicidade das coletas) nos três terminais portuários. A análise evidenciou uma **grande sobreposição de parâmetros e pontos de coleta**, o que reforça a oportunidade de **padronização das práticas e integração dos monitoramentos**.

Os programas de monitoramento da **qualidade do sedimento** e da **macrofauna bentônica** têm o objetivo de identificar alterações nos sedimentos e avaliar a composição das espécies bentônicas em fundos inconsolidados. As análises mostraram que os três terminais monitoram os mesmos parâmetros, com pontos de coleta próximos, resultando em uma **sobreposição significativa**.

O **monitoramento de ruídos subaquáticos** tem como foco o controle dos impactos sonoros nas espécies marinhas sensíveis, especialmente os cetáceos. O **monitoramento**

de bioacumulação investiga a **presença de contaminantes em organismos aquáticos**, o que permite avaliar os efeitos de poluentes no ambiente marinho. Nos três terminais, os parâmetros e a malha amostral também apresentam **grande semelhança**, reforçando a viabilidade de uma abordagem integrada.

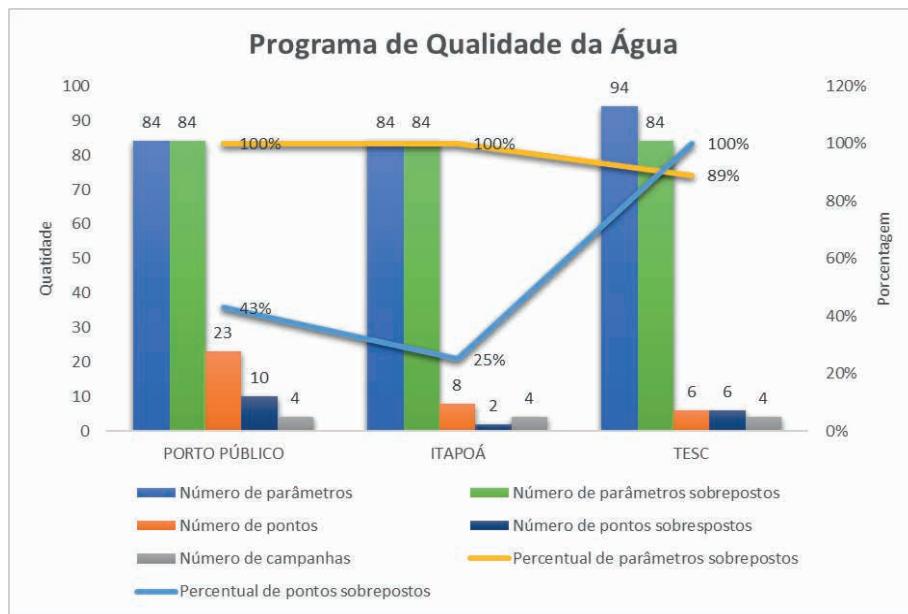


Figura 03: Análise comparativa do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água

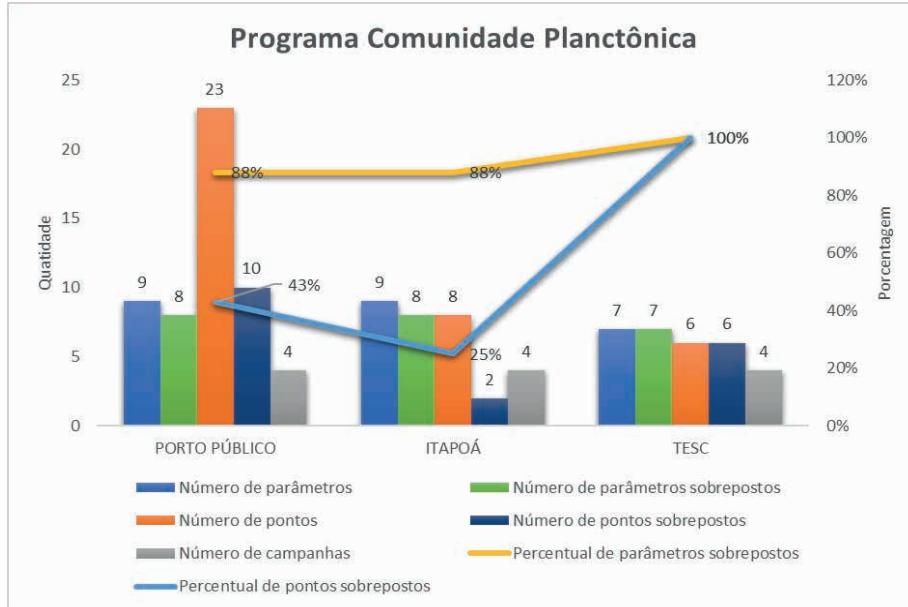


Figura 04: Análise comparativa do Programa de Monitoramento da Comunidade Planctônica

As Figuras 03 e 04 apresentam a análise comparativa dos **programas de monitoramento da qualidade da água e da comunidade planctônica** nos três terminais portuários estudados (Porto Público, Porto Itapoá e TESC). De maneira geral, foi observada uma significativa **semelhança nas metodologias adotadas**, tanto no que se refere aos parâmetros monitorados quanto à frequência e aos pontos de amostragem.

Os três portos seguem os **padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005** para águas salobras de classe 1. Em relação à **quantidade de parâmetros monitorados**, o intervalo varia de **84 a 94 parâmetros para a qualidade da água** e de **7 a 9 parâmetros para a comunidade planctônica**, com uma **sobreposição de parâmetros entre os portos de 88% a 100%**. Isso indica que, na prática, os três terminais estão analisando praticamente os mesmos aspectos da qualidade da água e da biota aquática, o que reforça a **necessidade de uma integração dos programas**.

No que diz respeito aos **pontos de amostragem**, o **Porto Público** possui o maior número, com **23 pontos**, enquanto o **Porto de Itapoá** possui **8 pontos** e o **TESC** conta com **6 pontos**. Apesar das diferenças no número total de pontos, houve uma **sobreposição de 25% a 100%** entre os pontos de amostragem. Isso demonstra que muitos pontos de coleta estão localizados em áreas comuns, revelando um potencial de **redução de redundâncias e sobreposição de esforços**.

A periodicidade de monitoramento é **uniforme para os três portos**, com a realização de **quatro campanhas anuais**, cobrindo as quatro estações do ano. Essa uniformidade é positiva, pois permite uma análise consistente e sazonal, além de facilitar a **comparação temporal dos resultados**.

Um ponto de divergência relevante está relacionado à **contratação de laboratórios para as análises laboratoriais**. Enquanto o **Porto de Itapoá e o TESC utilizam o mesmo laboratório**, o **Porto Público contrata um laboratório distinto**. Essa prática pode gerar variações nos métodos de análise e nos resultados obtidos. Portanto, a **padronização dos laboratórios e dos métodos analíticos** seria uma medida fundamental para a **uniformização dos dados ambientais e a redução das variações** entre os terminais.

Em relação ao **número total de análises anuais**, o **Porto Público lidera com 7.728 análises**, seguido pelo **Porto de Itapoá (2.688 análises)** e pelo **TESC (2.256 análises)**. No entanto, a análise revelou uma **sobreposição de análises que varia de 672 a 3.360 por ano**, evidenciando a **duplicação de esforços** entre os portos. Esses dados reforçam a **necessidade de adoção de um modelo de monitoramento integrado**, que permitiria a redução de custos e a otimização dos recursos.

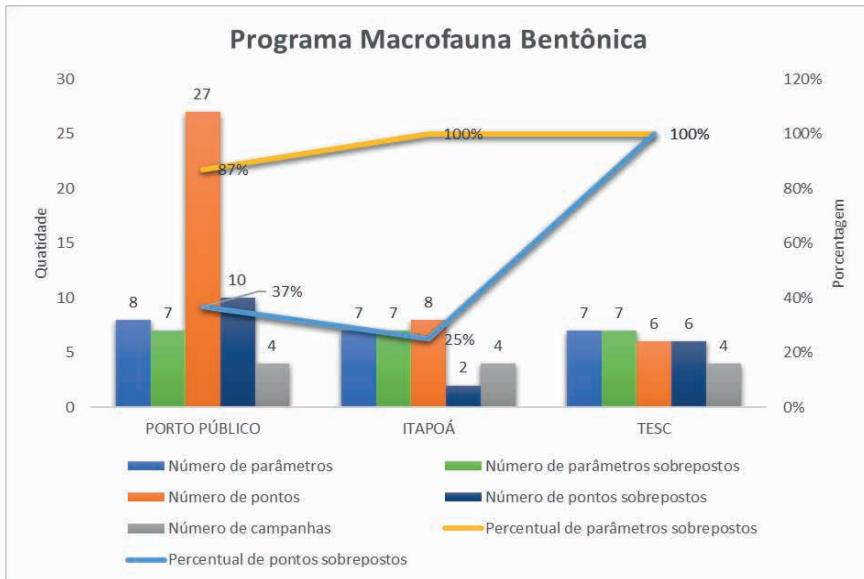


Figura 05: Análise comparativa do Programa de Monitoramento da Macrofauna Bentônica

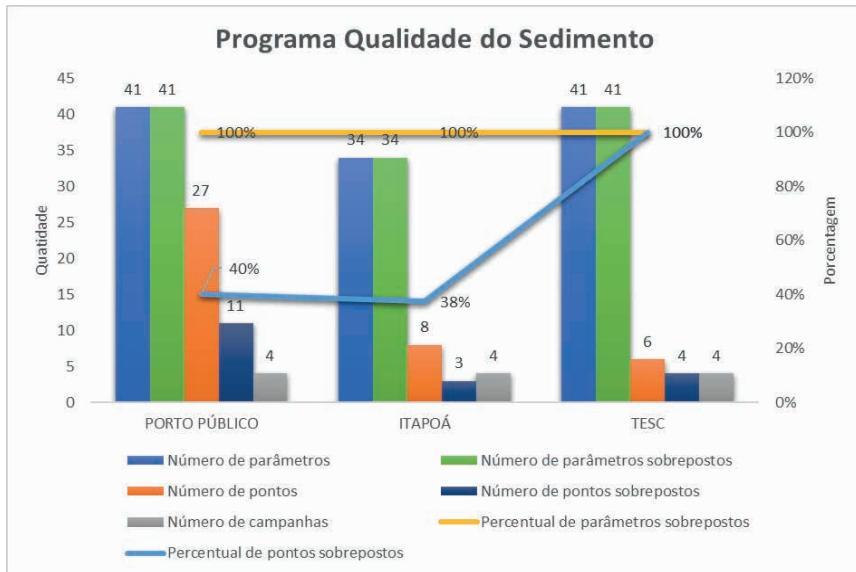


Figura 06: Análise comparativa do Programa de Monitoramento da Qualidade do Sedimento

As **Figuras 05 e 06** apresentam os resultados da **análise dos programas de monitoramento da macrofauna bentônica e da qualidade do sedimento** nos três portos. O objetivo desses programas é avaliar o impacto das operações portuárias sobre a **fauna bentônica** e os **sedimentos marinhos**, que podem sofrer modificações físicas e químicas devido às atividades portuárias.

A análise revelou uma **alta sobreposição de parâmetros monitorados entre os**

três portos, com índices superiores a **87% de semelhança** nos parâmetros de avaliação. Isso reforça o potencial para a **integração dos programas de monitoramento**, já que os portos estão avaliando os mesmos aspectos dos sedimentos e da fauna bentônica.

Em termos de **pontos de amostragem**, foi identificada uma **sobreposição de mais de 38%** entre os três portos. Assim como nos outros programas, todos os terminais realizam **quatro campanhas anuais** de monitoramento, o que possibilita a avaliação de variações sazonais. Os portos utilizam metodologias semelhantes, o que favorece a **comparação dos resultados e a identificação de oportunidades de integração**.

REDUNDÂNCIA DE ESFORÇOS

As análises realizadas pelos portos apresentam **sobreposição de coletas e parâmetros**. O **Porto Público** possui **11 pontos de coleta para sedimentos e 10 para a macrofauna bentônica**, enquanto o **Porto de Itapoá** possui **3 e 2 pontos**, respectivamente, e o **TESC** possui **4 e 6 pontos**. Apesar de o número de pontos variar, muitos estão localizados em **áreas comuns**, revelando **potenciais ganhos de eficiência com a unificação das coletas**.

A análise identificou que o **uso de laboratórios distintos** também é uma prática nos monitoramentos da macrofauna bentônica e dos sedimentos. Essa variação nos laboratórios pode comprometer a **comparabilidade dos dados ambientais** entre os terminais e, portanto, a **padronização de laboratórios** se apresenta como uma solução eficaz para harmonizar as análises e os métodos.

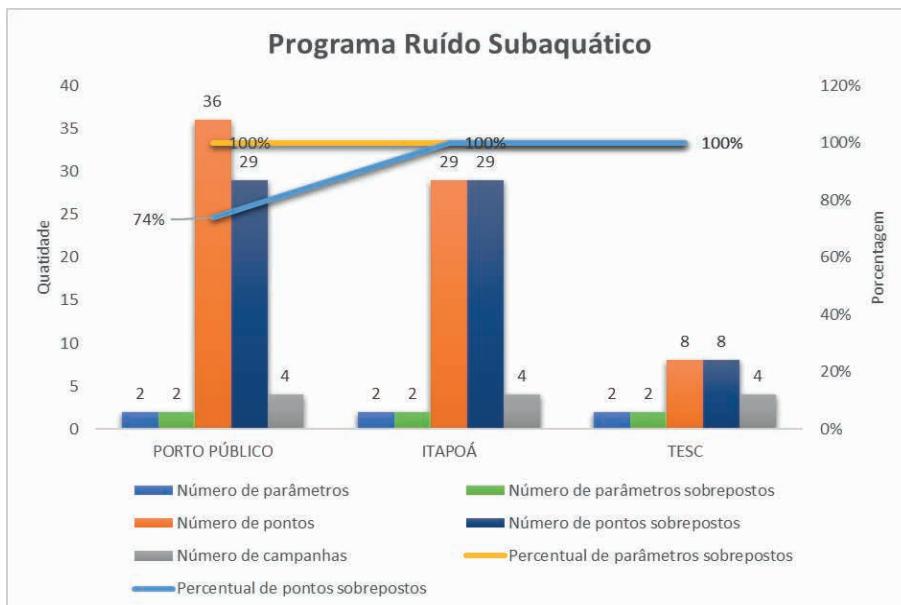


Figura 07: Análise comparativa da Programa de Monitoramento de Ruído Subaquático

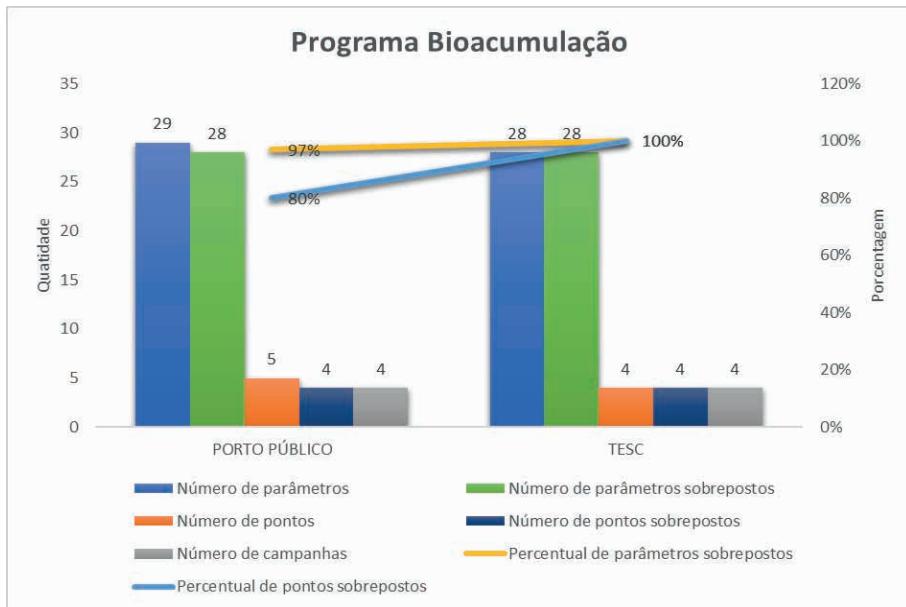


Figura 08: Análise comparativa do Programa de Monitoramento de Bioacumulação

As **Figuras 07 e 08** apresentam os resultados da análise dos **programas de monitoramento de ruídos subaquáticos e de bioacumulação**. Esses programas têm como objetivo avaliar o impacto dos **ruídos subaquáticos** e a **acumulação de contaminantes em organismos aquáticos**, permitindo identificar potenciais impactos causados pelas operações portuárias.

No monitoramento de ruídos subaquáticos, foi identificado que **100% dos parâmetros são sobrepostos** entre os três portos. No entanto, o **número de pontos de monitoramento é discrepante**. O **Porto Público monitora 36 pontos**, o **Porto de Itapoá possui 29 pontos**, enquanto o **TESC possui apenas 8 pontos**. A **sobreposição de pontos atinge 74% no Porto Público e 100% entre Itapoá e TESC**, o que reforça a possibilidade de **integração do monitoramento e redução de duplicidades**.

No caso do monitoramento de bioacumulação, o **Porto de Itapoá não realiza o programa**, pois ele não está previsto nas condicionantes do seu licenciamento. No entanto, o **Porto Público e o TESC realizam o monitoramento**, e a análise revelou uma **sobreposição de 80% a 100% dos parâmetros monitorados**, evidenciando a possibilidade de integração das ações.

Porto Público	Qualidade da Água	Comunidade Planctônica	Qualidade do Sedimento	Macrofauna Bentônica	Ruído Subaquático	Bioacumulação
Parâmetros Sobrepostos	84	8	41	7	2	28
Pontos Sobrepostos	10	10	11	10	29	4
Total de análises/ano	7728	828	4428	864	288	580
Total de análises sobrepostas/ano	3360	320	1804	280	232	448

Tabela 2 – Dados totais dos monitoramentos executados pelo Porto Público.

Itapoá	Qualidade da Água	Comunidade Planctônica	Qualidade do Sedimento	Macrofauna Bentônica	Ruído Subaquático	Bioacumulação
Parâmetros Sobrepostos	84	8	34	7	2	-
Pontos Sobrepostos	2	2	3	2	29	-
Total de análises/ano	2688	288	1088	224	232	-
Total de análises sobrepostas/ano	672	64	408	56	232	-

Tabela 3 – Dados totais dos monitoramentos executados pelo Porto de Itapoá.

TESC	Qualidade da Água	Comunidade Planctônica	Qualidade do Sedimento	Macrofauna Bentônica	Ruído Subaquático	Bioacumulação
Parâmetros Sobrepostos	84	7	41	7	2	28
Pontos Sobrepostos	6	6	4	6	8	4
Total de análises/ano	2256	168	984	168	64	448
Total de análises sobrepostas/ano	2016	168	656	168	64	448

Tabela 4 – Dados totais dos monitoramentos executados pelo TESC.

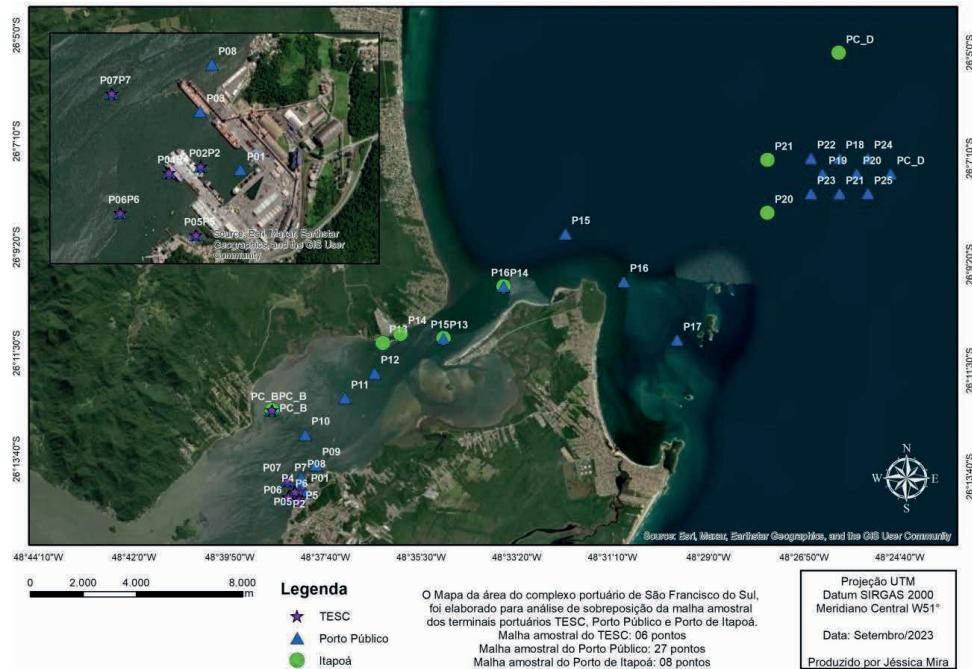


Figura 10: Localização das estações amostrais dos Programas de Monitoramento dos terminais portuários

A avaliação da implementação de **programas de monitoramento ambiental integrado** entre os portos da **Baía da Babitonga** revelou desafios e oportunidades significativas. A análise apontou uma **elevada sobreposição de pontos de amostragem e duplicação de análises**, o que dificulta a avaliação e a gestão ambiental por parte do **órgão licenciador**, além de resultar em um **desperdício de recursos financeiros e operacionais**. Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de uma **coordenação mais eficiente** e de uma abordagem integrada para otimizar o uso de recursos e melhorar a **eficácia do monitoramento ambiental**.

Neste contexto, a proposta de **monitoramento ambiental integrado** surge como uma alternativa viável e estratégica. Esse modelo propõe a **padronização dos programas de monitoramento**, incluindo a **harmonização de parâmetros, malhas amostrais, periodicidade das coletas e o uso de laboratórios comuns**, conforme as regulamentações ambientais aplicáveis. A padronização não só evita duplicidade de esforços, mas também permite uma **melhor comparabilidade dos dados e a redução de custos operacionais**.

ELEMENTOS ESSENCIAIS DO MONITORAMENTO INTEGRADO

1. Padronização de procedimentos e métodos: Definição de um protocolo comum de coleta, análise e interpretação de dados.

- 2. Unificação de laboratórios de análise:** Contratação de um laboratório comum para os três portos, o que reduziria a variabilidade dos resultados e os custos por análise.
- 3. Criação de uma plataforma de dados centralizada:** Um sistema de armazenamento e análise de dados, acessível a todos os empreendimentos e ao órgão ambiental, possibilitando a **transparência e a troca de informações**.
- 4. Compartilhamento de custos e responsabilidades:** Distribuição dos custos operacionais entre os portos, o que reduziria o peso financeiro para cada terminal.

BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MONITORAMENTO INTEGRADO

1. Otimização de Recursos Financeiros e Operacionais

A integração dos programas de monitoramento permite a **eliminação de redundâncias** nas coletas e análises laboratoriais, reduzindo custos associados à contratação de equipes de campo, laboratórios e análises repetidas. Segundo Kopelke (2021), uma abordagem integrada permite uma melhor **coordenação de atividades entre as partes interessadas**, o que resulta na **gestão eficiente dos recursos naturais** e na **melhoria da saúde do ambiente natural**. A **padronização dos parâmetros** também permite a **negociação conjunta com laboratórios**, reduzindo os custos de análise.

2. Maior Eficiência na Gestão Ambiental

Com a criação de uma **plataforma centralizada de dados**, os órgãos ambientais e as empresas portuárias teriam acesso a informações de forma integrada e em tempo real. Isso facilita a **avaliação da efetividade das condicionantes ambientais** e permite ajustes mais rápidos nos planos de controle. Além disso, os dados padronizados e centralizados tornam o processo de licenciamento **mais ágil e transparente**, o que **reduz o tempo de resposta** para os órgãos ambientais.

3. Melhoria da Qualidade dos Dados e Redução de Variabilidade

O uso de diferentes laboratórios pelos terminais tem gerado **variabilidade nos métodos e nos resultados das análises**, comprometendo a comparabilidade dos dados ambientais. Ao utilizar um **laboratório comum**, os três terminais podem garantir uma **maior consistência metodológica** e reduzir a necessidade de revisões posteriores. Isso também fortalece a **confiança dos órgãos ambientais** nos dados apresentados.

4. Avaliação de Impactos Sinérgicos e Cumulativos

Os impactos ambientais resultantes de múltiplas operações portuárias raramente se acumulam de forma linear. Foley et al. (2013) e Kaplan et al. (2013) destacam que os impactos podem ser **sinérgicos (impacto total maior que a soma das partes)** ou **antagônicos (impacto total menor que a soma das partes)**. Um programa de monitoramento integrado possibilita uma **visão sistêmica** desses impactos, permitindo avaliar o efeito combinado de várias operações portuárias na **qualidade ambiental da Baía da Babitonga**.

5. Redução da Carga de Trabalho para o Órgão Ambiental

Atualmente, o órgão ambiental precisa analisar relatórios de monitoramento individuais de cada terminal, o que sobrecarrega a capacidade de análise. Com o monitoramento integrado, o órgão teria acesso a um **relatório consolidado e padronizado**, o que facilitaria a **avaliação e a tomada de decisões**. O tempo e os recursos economizados podem ser redirecionados para atividades de **fiscalização e controle ambiental mais estratégicos**.

O caso do **Porto de Curtis, na Austrália**, é uma referência de sucesso para a implementação de **programas de monitoramento ambiental integrado**. Em 2001, foi estabelecido um **comitê direutivo multisectorial**, composto por representantes de indústrias, governo (local e estadual), instituições de pesquisa e outras partes interessadas. A iniciativa foi responsável pela criação de um **programa holístico de monitoramento ambiental** para a saúde do ecossistema na região.

A comissão concentra esforços em **avaliações coordenadas e objetivas** do ambiente marinho, proporcionando informações sobre o estado atual do ecossistema e identificando mudanças futuras nas comunidades biológicas e no ambiente portuário. Esse modelo se destaca pelo seu caráter **participativo e colaborativo**, o que permitiu a criação de uma base científica sólida para a **avaliação de novas áreas de licenciamento** (CURRIE; SMALL, 2003).

Esse modelo de governança pode ser replicado na **Baía da Babitonga**, considerando a presença de múltiplos portos e a perspectiva de novos empreendimentos na região.

DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MONITORAMENTO INTEGRADO

A proposta de um monitoramento integrado exige a **superação de desafios institucionais, técnicos e operacionais**. Os principais desafios incluem:

1. Governança e Articulação Interinstitucional

É essencial a criação de uma **estrutura de governança formal**, que defina as responsabilidades de cada terminal portuário e do órgão ambiental. Essa estrutura deve garantir que todos os participantes compartilhem os custos de forma justa e que as decisões sejam tomadas de forma colaborativa.

2. Respaldo Jurídico e Institucional

É necessário criar **acordos formais entre os portos e os órgãos ambientais** para que as responsabilidades e obrigações de cada parte estejam claramente definidas. Isso inclui o **compromisso com a padronização metodológica e o uso de laboratórios comuns**.

3. Incorporação de Novos Terminais

A **expansão portuária na Baía da Babitonga** apresenta um desafio adicional.

Novos terminais em fase de licenciamento deverão ser **incorporados ao modelo de monitoramento integrado**, para garantir a uniformização de dados e análises.

4. Formalização de Grupos de Trabalho

A implementação do monitoramento integrado requer a **criação de grupos de trabalho interinstitucionais**, com reuniões periódicas e a participação de todos os portos e do órgão ambiental. A agenda de trabalho deve ser **formalizada e contínua**, para garantir a **sustentabilidade e a continuidade do processo**.

CONCLUSÃO

A implementação de um **Programa de Monitoramento Ambiental Integrado** para os portos da **Baía da Babitonga** se apresenta como uma solução estratégica e eficiente para otimizar o uso de recursos materiais, financeiros e humanos, tanto por parte dos **empreendedores portuários** quanto do **órgão licenciador**. Essa proposta visa aprimorar a **gestão ambiental integrada**, permitindo uma **visão holística e articulada** dos impactos ambientais decorrentes das operações portuárias na região.

Ao promover a **padronização dos métodos, malhas amostrais, parâmetros de monitoramento e periodicidade das campanhas**, o modelo de monitoramento integrado possibilita a **redução de redundâncias e sobreposição de esforços**. Isso se traduz em uma **maior eficiência no uso dos recursos** e no **aumento da efetividade das ações de controle ambiental**, sem comprometer o acompanhamento individual de cada empreendimento, conforme exige a legislação vigente.

Para o **órgão licenciador**, a proposta de integração fortalece a capacidade de análise e acompanhamento dos monitoramentos. O acesso a uma **base de dados centralizada e integrada** permite a **avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos**, reduzindo a carga de trabalho com a revisão de relatórios repetidos. Como consequência, ocorre uma **desoneração do serviço público**, com maior **eficiência no licenciamento ambiental e agilidade nas decisões**. A integração dos monitoramentos também contribui para a **gestão estratégica dos conflitos de uso da área**, o que facilita a conciliação entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental.

Sob a perspectiva dos **empreendedores portuários**, o monitoramento integrado **representa uma oportunidade de otimização de recursos financeiros e operacionais**. A unificação das campanhas de coleta e a **contratação de laboratórios comuns** possibilitam uma **redução significativa nos custos de operação**, incluindo **menores despesas com equipes de campo, coletas e análises laboratoriais**. Além disso, a **padronização das metodologias** traz maior **credibilidade aos dados ambientais** e amplia a **previsibilidade dos custos operacionais**. A redução do número de intervenções no processo de licenciamento ambiental, como a diminuição de campanhas duplicadas, também é um fator de destaque.

Outro ponto relevante é a **melhora na qualidade dos dados ambientais**. Com a padronização das análises e o uso de laboratórios comuns, os resultados se tornam mais consistentes e comparáveis, fortalecendo a **base científica necessária para a tomada de decisões informadas**. Essa abordagem não apenas beneficia os empreendimentos portuários, mas também promove uma **governança ambiental mais transparente e participativa**, na qual todos os envolvidos têm acesso a dados atualizados e de fácil consulta.

Portanto, a **implementação de um modelo de monitoramento ambiental integrado** na **Baía da Babitonga** contribui para a **eficiência na gestão dos impactos ambientais, reduz os custos operacionais e facilita o acompanhamento regulatório pelo órgão licenciador**. Essa integração não inviabiliza o controle individual de cada empreendimento, mas, ao contrário, o potencializa. O modelo proposto se mostra **coerente com as melhores práticas internacionais**, como o caso do **Porto de Curtis, na Austrália**, onde a adoção de um programa holístico de monitoramento trouxe **melhor controle dos impactos ambientais e maior previsibilidade para os empreendimentos locais**.

Por fim, a proposta de **monitoramento ambiental integrado** reforça o equilíbrio entre o **desenvolvimento econômico e a preservação ambiental**, pilares fundamentais para a **sustentabilidade portuária**. A adoção de uma estrutura de governança colaborativa, com a **participação dos empreendedores, órgãos ambientais e partes interessadas**, é essencial para o sucesso dessa iniciativa. Com a **formalização de um grupo de trabalho, a definição de uma agenda comum e a criação de uma base de dados centralizada**, será possível consolidar uma **gestão ambiental mais eficaz e transparente na Baía da Babitonga**, servindo de **modelo replicável para outras regiões portuárias no Brasil**.

REFERÊNCIAS

ACQUAPLAN. **Plano Básico Ambiental - PBA**. Relatório Consolidado SCPar Porto de São Francico do Sul. São Francisco do Sul, 2022.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 07 abr. 2023.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Federal 12.815, de 05 de junho de 2013**. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12815.htm. Acesso em: 19 mai. 2023.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Complementar 140, de 08 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 07 abr. 2023.

BRASIL. **Portaria MMA nº 422, de 26 de outubro de 2011.** Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-422-2011_232778.html. Acesso em: 07 abr. 2023.

BRASIL. **Portaria MMA nº 424, de 26 de outubro de 2011.** Dispõe sobre procedimentos específicos a serem aplicados pelo IBAMA na regularização ambiental de portos e terminais portuários, bem como os outorgados às companhias docas, previstos no art. 24-A da Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/55881195/ImpRns_Nacional. Acesso em: 16 abr. 2023.

BRASIL. **Portaria MMA nº 463, de 18 de dezembro de 2018.** Dispõe sobre Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2011/p_mma_424_2011_regularizacaooambientalportosterminalsportuarios.pdf. Acesso em: 16 abr. 2023.

COSTA, Marco Aurélio; KLUG, Letícia Beccalli; PAULSEN, Sandra Silva. **Licenciamento ambiental e governança territorial: registros e contribuições do seminário internacional.** Rio de Janeiro: Ipea, 2017. 246 p.

CURRIE, David R.; SMALL, Kirsty J. **Port Curtis Macrofaunal Monitoring Programme.** Central Queensland University, p. 1-37, 2003.

FOLEY, Melissa M. et al. **Improving Ocean Management through the Use of Ecological Principles and Integrated Ecosystem Assessments.** Bioscience, p. 619-631, agosto 2013.

IBAMA. **Proteção e Controle de Ecossistemas Costeiros: manguezal da Baía de Babitonga.** Brasília, 1998.

IBAMA. **Etapas do Licenciamento Ambiental: acompanhamento.** Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/procedimentos-e-servicos/etapas/acompanhamento>. Brasília, 2022. Acesso em: 10 abr. 2023.

IBAMA. **Plano de Gestão Ambiental (PGA).** Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/procedimentos-e-servicos/arquivos/publicacoes/Estrutura_PGA_Ibama-LAF.pdf. Brasília, 2020. Acesso em: 10 abr. 2023.

IBAMA. **Parecer Técnico nº 007644/2013 COPAH/IBAMA.** Proposta de monitoramento ambiental integrado da Baía da Babitonga. Brasília, 2013.

IBAMA. **Parecer Técnico nº 3/2021-NLA-SC/DITEC-SC/SUPES-SC.** Programa de Monitoramento Ambiental Integrado da Baía da Babitonga/SC no âmbito dos empreendimentos licenciados pela COMAR/CGMAC/DILIC/IBAMA. Florianópolis, 2021.

KAPLAN, Isaac C.; GRAY, Iris A.; LEVIN, Phillip S. **Cumulative impacts of fisheries in the California Current**. Fish and Fisheries, p. 515-527, junho 2012.

KOPELKE, David. **Port Curtis Integrated Monitoring Program**, 2021. Disponível em: <https://apps.aims.gov.au/metadata/view/5d8e2714-2147-4834-b278-65f12aa54e74>. Acesso em: 07 out. 2023.

MAGNUSSON, William *et al.* **Biodiversidade e Monitoramento Ambiental**. Manaus: Áttema Editorial, 2013. 335 p.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Atlas dos manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Proteção da Biodiversidade - ICMBio. Brasília, 2018.

PETROBRAS. **Plano Macro**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/noticia/plano-macro-uma-nova-forma-de-planejar-e-executar-os-projetos-condicionantes.html>. Acesso em: 14 abr. 2023.

PETROBRAS. **COMUNICAÇÃO BACIA DE SANTOS**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/programa-ambiental/projeto-de-monitoramento-socioeconomico-pms.html>. Acesso em: 14 abr. 2023.

PETROBRAS. **SEMINÁRIO APRESENTA PROPOSTAS PARA CARACTERIZAÇÃO DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/noticia/seminario-apresenta-propostas-para-caracterizacao-de-impactos-socioambientais.html>. Acesso em: 14 abr. 2023.

PORTE DE ITAPOÁ. Disponível em: <https://www.portoitapoa.com/porto-itapoa/>. Acesso em: 19 mai. de 2023.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA n.º 98, de 2017**. Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=345935>. Acesso em: 16 abr. 2023.

SCPAR PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL. Disponível em: <https://portosaofrancisco.com.br/dados-gerais/>. Acesso em: 19 mai. 2023.

TESC TERMINAL SANTACATARINA. Disponível em: <https://www.terminalsc.com.br/institucional?lang=pt-br>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CAPÍTULO 8

UM PANORAMA DA ABORDAGEM BIOFÍLICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA

Data de submissão: 18/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Paula Scherer

Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2682575980078780>

RESUMO: A biofilia é uma abordagem que, aplicada à construção civil, apresenta potencial na melhoria do bem-estar humano, e vincula-se a práticas sustentáveis, através, por exemplo, da valorização de elementos naturais e da preservação da biodiversidade. Tais práticas são cada vez mais relevantes, considerando o significativo consumo de recursos naturais proveniente de atividades da indústria da construção civil. Nesse âmbito, é essencial que a comunidade científica contribua com estudos sobre a adoção da biofilia no ambiente construído, incentivando práticas de construção sustentáveis e resilientes. Este trabalho objetivou investigar o panorama de publicações brasileiras que tem discutido a adoção da biofilia na construção civil, bem como o cenário de publicações que tem investigado a biofilia na construção civil considerando aspectos de sustentabilidade, e revelar as estratégias biofílicas que têm sido valorizadas nesse

contexto. A metodologia do estudo envolveu uma revisão sistemática da literatura, que abrangeu artigos de periódicos, de eventos e capítulos de livros, publicados desde 2010 em português. A busca retornou em 32 artigos selecionados. Os resultados mostraram que maior parte dos trabalhos (62,50%) abordou a sustentabilidade nas pesquisas e que houve um acréscimo considerável de pesquisas sobre o tema nos últimos anos. A presença de vegetação nas edificações foi a estratégia biofílica mais mencionada nos trabalhos, estando presente em 28 publicações, seguida pelo uso de materiais naturais. Foi identificado que a abordagem biofílica na construção civil representa uma alternativa com potencial de trazer soluções para os desafios contemporâneos, especialmente em edificações habitacionais, que foram as tipologias mais pesquisadas nas publicações selecionadas.

PALAVRAS-CHAVE: biofilia; construção civil; sustentabilidade.

A PANORAMA OF THE BIOPHILIC APPROACH IN CIVIL CONSTRUCTION IN BRAZIL

ABSTRACT: Biophilia is an approach that,

when applied to the civil construction, has the potential to enhance human well-being and is associated with sustainable practices, such as the valorizations of natural elements and the preservation of biodiversity. These practices are increasingly relevant, considering the significant consumption of natural resources resulting from activities in the construction industry. In this context, it is essential for the scientific community to contribute with studies on the adoption of biophilia in the built environment, encouraging sustainable and resilient construction practices. This study aimed to investigate the landscape of Brazilian publications that have discussed the adoption of biophilia in the civil construction, as well as the overview of publications that have investigated biophilia in construction considering aspects of sustainability, and to reveal the biophilic strategies that have been valued in this context. The study methodology involved a systematic literature review, covering journal articles, conference proceedings, and book chapters published since 2010 in Portuguese. The search returned 32 selected articles. The results showed that the majority of the papers (62.50%) addressed sustainability in their research and that there has been a considerable increase in research on the topic in recent years. The presence of vegetation in buildings was the most mentioned biophilic strategy, present in 28 publications, followed by the use of natural materials. It was identified that the biophilic approach in the civil construction represents an alternative with the potential to provide solutions for contemporary challenges, especially in residential buildings, which were the most researched typology in the selected publications.

KEYWORDS: biophilia; civil construction; sustainability

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade humana de estabelecer uma conexão com a natureza foi investigada e apresentada por psicólogos e biólogos na teoria da biofilia (Kellert, 1993; Wilson, 1984). Nesse âmbito, conforme propôs Edward Wilson (1984), a biofilia descreve uma propensão dos seres humanos em se conectar com a natureza, focar na vida e em processos similares a ela. Desde a década de 1990, as preocupações da teoria da biofilia mudaram de seu foco inicial na vida ou organismos vivos para explorar a relação entre humanos e o ambiente natural. No início do século XXI, a noção de biofilia foi desenvolvida e adaptada em áreas da construção civil, chamando a atenção para o aspecto emocional das necessidades dos humanos de interações com o ambiente natural (Zhong; Schröder; Bekkering, 2022).

O design biofílico engloba a investigação de características ambientais, considerando as interações com a natureza que são favoráveis ao bem-estar e ao desenvolvimento dos seres humanos (Gillis; Gatersleben, 2015; Beatley; Newman, 2013; Browning; Ryan; Clancy, 2014). Zhong, Schröder e Bekkering (2022) propuseram uma estrutura de design biofílico, a partir da interpretação de estruturas anteriores e considerando um cenário mais tangível para quem atua em áreas da construção civil e design. Eles categorizaram o design biofílico em: 1) incorporação da natureza (*nature incorporation*): que considera o projeto com elementos, processos e fenômenos naturais; 2) inspiração da natureza (*nature inspiration*), que contempla a inspiração em formas e padrões naturais; e 3) interação com a natureza (*nature interaction*), que considera a construção de espaços semelhantes à

natureza e estabelecer conexões com sistemas naturais.

Assim, na construção civil, o design biofílico pode ser alcançado através de diferentes elementos e estratégias, como a incorporação de plantas nos ambientes e a utilização de materiais naturais e odores encontrados na natureza (Browning; Ryan; Clancy, 2014; Söderlund, 2019). As plantas, por exemplo, podem contribuir na melhora da qualidade do ar (Brilli *et al.*, 2018; Kim *et al.* 2006) e podem beneficiar a saúde e o bem-estar da população (Bringslimark; Hartig; Patil, 2009). Nesse contexto, Beatley e Newman (2013) indicam que a biofilia reflete os laços entre usos sustentáveis e resilientes da terra e o bem-estar físico, psicológico e social melhorado.

No que tange ao desenvolvimento sustentável, a construção civil vinculada à sustentabilidade envolve tecnologias engajadas com a sustentabilidade ambiental, social e econômica. Nesse âmbito, ela promove a eficiência construtiva e incentiva a habitabilidade, a sustentabilidade e o bem-estar comum. Depreende-se a importância do desenvolvimento de ambientes mais resilientes e integrados ao contexto natural para enfrentar os desafios contemporâneos (Okimoto, 2021). Pesquisas em contexto global, como as de El-Baghdadi e Desha (2017), Bayulken, Huisingsh e Fisher (2021) e Long e Rice (2018) mostram o potencial da biofilia na construção civil quanto à sustentabilidade ambiental, considerando aspectos como redução do consumo de energia e combate às mudanças climáticas. Na 26^a Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2021), em Glasgow, a abordagem biofílica nas áreas da construção civil foi colocada em pauta. Nesse âmbito, a mesma teve destaque do que diz respeito ao enfrentamento da crise climática, contribuindo com o objetivo de reduzir o aumento da temperatura global a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, em vez de 2 °C.

Frente ao contexto apresentado, este estudo teve como objetivo investigar e analisar o panorama de publicações científicas e acadêmicas brasileiras que tem discutido a adoção da biofilia na construção civil. Também busca-se identificar o cenário de publicações que tem investigado a biofilia na construção civil considerando a sustentabilidade e identificar as estratégias biofílicas que têm sido valorizadas nesse contexto. Dessa forma, pretende-se contribuir para o estado da arte, considerando-se a importância da adoção de estratégias biofílicas para o desenvolvimento de ambientes construídos mais resilientes e sustentáveis e, consequentemente, comunidades preparadas para os desafios contemporâneos.

2 | METODOLOGIA

A metodologia adotada envolveu uma revisão sistemática da literatura. Nesse âmbito, considerou-se Sampaio e Mancini (2007) para dar embasamento ao método. A busca foi fundamentada nas seguintes questões científicas:

1. Qual é o cenário de publicações científicas e acadêmicas brasileiras que tem discutido a biofilia na construção civil?

2. Qual é o cenário das publicações científicas e acadêmicas brasileiras que tem discutido a biofilia na construção civil e também abordado a sustentabilidade?
3. Que estratégias de biofilia na construção civil têm sido mais abordadas nos trabalhos levantados?

A coleta de publicações foi realizada no dia 4 de dezembro de 2024 no Google Acadêmico (*Google Scholar*), com o intuito de assegurar uma representativa abrangência de publicações. Foram utilizados os seguintes termos de busca: biofilia + “construção civil”. A pesquisa contemplou artigos publicados em português em periódicos, eventos e livros, desde o ano de 2010. Levando-se em consideração as constatações de Sampaio e Mancini (2007), o processo de revisão sistemática da literatura foi estruturado conforme a Figura 1.



Figura 1 – Procedimentos utilizados na revisão sistemática da literatura

Fonte: Autora (2024).

A busca inicial no Google Acadêmico resultou em 296 resultados, sendo limitados a 259 quando a busca foi restrita ao idioma português (brasileiro). Os trabalhos passaram pelo processo de seleção mencionado, restando 32 publicações. Nesse âmbito, trabalhos que não puderam ser acessados integralmente não foram selecionados. Os artigos aderentes foram organizados e caracterizados considerando informações como: título; autoria; ano de publicação; instituições dos autores no período da publicação; locais vinculados

aos autores no período da publicação; tipos de trabalhos; meios em que os trabalhos foram publicados; objetivos indicados nos trabalhos; técnicas utilizadas na metodologia; estratégias biofílicas mencionadas; tipos de construções enfatizadas nos estudos; e se foi abordada a sustentabilidade. Essa organização foi feita com o intuito de responder às questões científicas formuladas e realizar uma análise congruente.

3 | RESULTADOS

Foi levantado um total de 32 publicações com base nos critérios apresentados na metodologia. Conforme a Figura 2, que mostra a distribuição das publicações por ano, 72,13% dos trabalhos selecionados foi publicada a partir de 2022. Ademais, do total de publicações selecionadas, 62,50% mencionaram a sustentabilidade, sendo o maior número de trabalhos que abordou o tema observado em 2023.

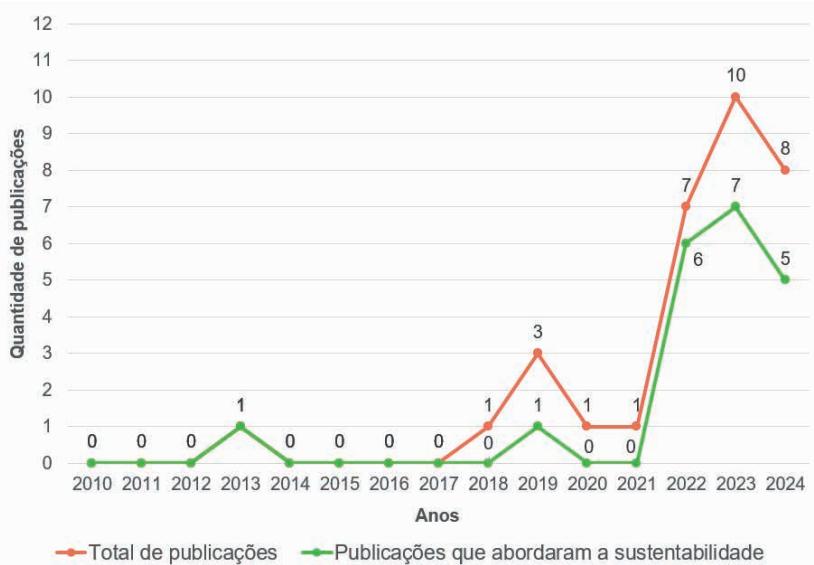


Figura 2 – Distribuição anual do total de publicações selecionadas e das publicações selecionadas que abordaram a sustentabilidade

Fonte: Autora (2024).

O aumento identificado possivelmente se deve a fatores como valorização do bem-estar e aumento da consciência ambiental. Nesse âmbito, observa-se que o desenvolvimento de conceitos de psicologia ambiental contribui para que o design biofílico seja mais abordado em estudos sobre a influência de elementos naturais na cognição, no comportamento e no bem-estar da população (Santos; Torres, 2024). Além disso, quanto à adaptação da construção civil a conceitos de sustentabilidade ambiental, observa-se que as mudanças climáticas e a percepção da ameaça que elas representam têm sido

importantes para fomentar a responsabilidade ecológica (Domingues; Souto, 2023).

A Figura 3 mostra a relação dos locais do Brasil vinculados aos autores dos trabalhos selecionados. O estado do Rio Grande do Sul foi o local que teve mais autores que desenvolveram publicações sobre o assunto (22 autores no total), seguido do Paraná (15 autores no total) e de Santa Catarina (13 autores no total). O Paraná, inclusive, foi o estado com a maior quantidade de autores que publicou trabalhos que abordaram a sustentabilidade.

Com base nos estudos levantados, pesquisadores da região sul do país, em especial, têm se dedicado a estudos que discutem a biofilia no ambiente construído, demonstrando que as condições existentes podem ser aprimoradas no que tange a aspectos de sustentabilidade e de habitabilidade, a partir de uma maior conexão e interação com a natureza.

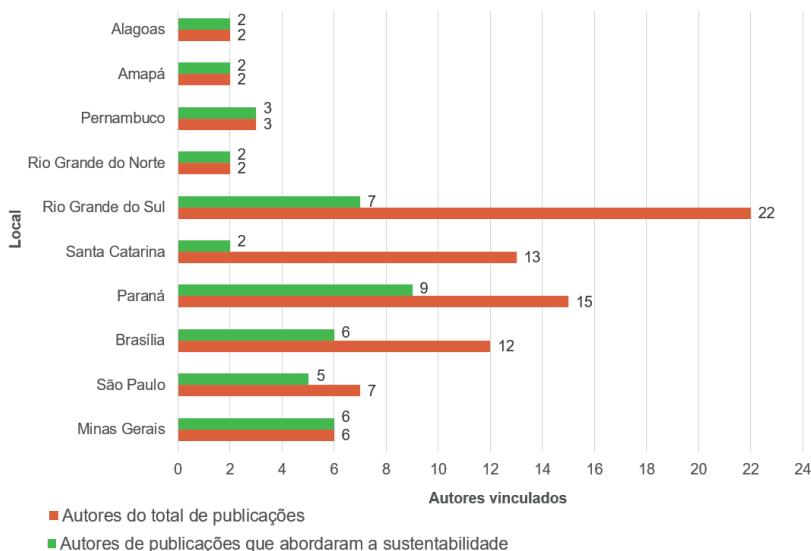


Figura 3 – Distribuição dos autores conforme o local em que estavam vinculados no Brasil

Fonte: Autora (2024).

No trabalho de Caluete Neto e Arruda (2023), com autores vinculados ao estado de Santa Catarina, por exemplo, buscou-se reunir discussões acerca da bioinspiração a partir da análise de micro habitações pré-fabricadas voltadas ao turismo sustentável. Nesse contexto, foi dada ênfase ao potencial do design bioinspirado para a criação desses artefatos, de forma a ressignificar a ideia de construção pré-fabricada, conforme as necessidades do mundo contemporâneo. Caluete Neto e Arruda (2023) abordaram a sustentabilidade no que tange ao estudo do turismo sustentável, considerando melhores práticas de projeto e design desses artefatos. Os autores pontuaram que as áreas da biofilia e biomimética evidenciam um grande potencial no desenvolvimento de soluções construtivas eficientes e

sustentáveis, sendo capazes de diminuir os danos ao meio ambiente.

O trabalho de Costa e Arruda (2023), que apresentou pesquisadores vinculados ao estado de Alagoas, teve como objetivo revisar conceitos da biofilia e estabelecer padrões aplicáveis ao ambiente construído. Nesse sentido, buscou-se trazer reflexões referentes ao contato do usuário, considerando padrões biofílicos na habitação popular. Os autores também indicaram o potencial da biofilia em tornar as construções mais sustentáveis, bem como agradáveis e saudáveis. No trabalho de Jacques, Hasse e Pizzato (2022), que apresentou como objetivo estudar de que forma a madeira e seus derivados tem sido usados em projetos, considerando o estudo de caso de três mostras gaúchas, de 2021. No trabalho, a sustentabilidade foi abordada no que tange ao uso de materiais com menor impacto ambiental.

Os trabalhos de Santos e Torres (2024) e Azevedo e Brito (2023) também abordaram aspectos de sustentabilidade ambiental, mas diferente das pesquisas anteriores, no contexto de espaços de saúde. No trabalho de Santos e Torres (2024) por exemplo, buscou-se transcender a dimensão que separa o caráter técnico e funcional do sensorial humano e promover uma revisão bibliográfica, mostrando que o design biofílico contribui na melhoria da qualidade dos ambientes e pode diminuir o consumo de energia, considerando a melhor eficiência de hospitais. Conforme Santos e Torres (2024), estratégias que minimizam gastos energéticos são fundamentais para a própria viabilização da edificação, mas ao priorizar o ponto de vista técnico, abordagens não convencionais de percepção ambiental são desvalorizadas. Consequentemente, a sustentabilidade não é somente um problema de crise climática, mas também uma adversidade social psicológica.

Quanto aos meios de publicação dos trabalhos, dentre os 32 estudos coletados, 18 são artigos de periódicos, 7 são capítulos de livros e 7 são trabalhos publicados em anais de eventos científicos ou acadêmicos que disponibilizaram as pesquisas na base de dados utilizada. Nesse contexto, a relação entre os meios de publicação e a quantidade de trabalhos é apresentada na Tabela 1.

Meios de publicações	Publicações
Periódicos	
Revista Infinity	3
Revista Delos	1
Oculum Ensaios	1
Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE	1
ARCHITECTON - Revista de Arquitetura e Urbanismo	1
IMPACT projects	1
Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades	1
Revista científica multidisciplinar do CEAP (Centro de Ensino Superior do Amapá)	1
Revista Thêma et scientia	1

Ambiente Construído	1
Caderno PAIC (Programa de Apoio à Iniciação Científica)	1
Percorso Acadêmico	1
Revista Liberato	1
Revista Thesis	1
Revista VIS – Revista do Programa de Pós-Graduação em Artes Visuais da Universidade de Brasília	1
Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente	1
Eventos acadêmicos e científicos	
ENSUS 2023 – XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto	1
ENTAC 2024 - XX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído	1
XXVI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão – UNICRUZ (Universidade de Cruz Alta)	1
SDS 2023 – IX Simpósio de Design Sustentável	1
III UniSIAE - Semana integrada de agronomia, arquitetura e urbanismo, análise e desenvolvimento de sistemas e engenharias (civil, mecânica, produção e software) da Unicesumar de Ponta Grossa	1
II CONINTER – Congresso Internacional Interdisciplinar em Sociais e Humanidades	1
II Jornada do programa de pós-graduação stricto sensu em arquitetura e urbanismo	1
Livros – Publicações em capítulos	
Grupo de pesquisa espaço construído, sustentabilidade e tecnologias (GTEC): 5 anos de trajetória	2
Conhecimentos da área da sustentabilidade em arquitetura e urbanismo	2
A construção civil: em uma perspectiva econômica, ambiental e social - Volume 2	1
O futuro sustentável das cidades: abordagens múltiplas	1
Themes focused on interdisciplinarity and sustainable development worldwide V. 02	1

Tabela 1 – Meios de publicação dos trabalhos selecionados

Fonte: Autora (2024).

Em um segundo momento, foram identificadas as estratégias biofílicas que tiveram destaque por serem mais mencionadas nos trabalhos (Figura 4). Essas estratégias se enquadram, por exemplo, nas categorias indicadas por Zhong, Schröder e Bekkering (2022): incorporação da natureza, inspiração da natureza e interação com a natureza.

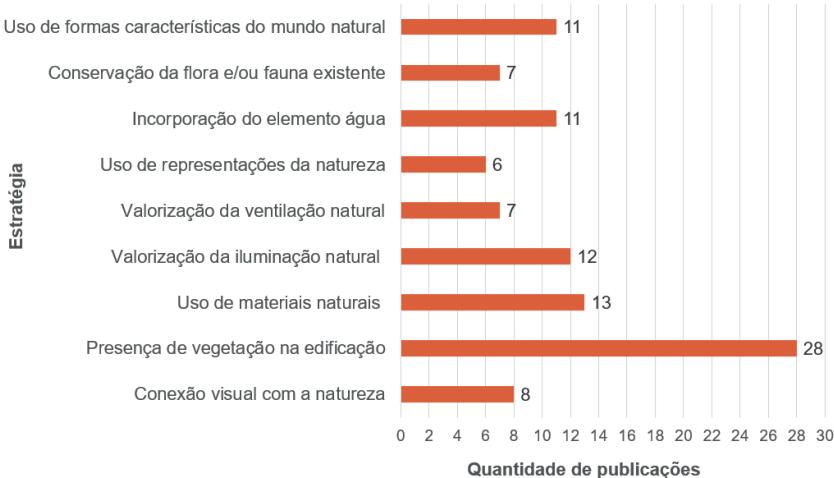


Figura 4 – Estratégias biofílicas abordadas com maior frequência

Fonte: Autora (2024).

Observa-se que a integração da vegetação nas edificações foi prevalente quanto às estratégias mais consideradas. A pesquisa de Bóschi, Moises e Ghisi (2019), por exemplo, teve como foco o estudo de ambientes de escritório considerando os impactos de parâmetros relacionados à satisfação e ao bem-estar do usuário em ambientes corporativos. Conforme os autores, a preferência por espaços internos com vegetação tem sido eminente. Bóschi, Moises e Ghisi (2019) pontuaram que a urbanização coincidiu na minimização de áreas arborizadas nas cidades, sendo que essa questão voltou a ser debatida recentemente. Também indicaram que a importância da vegetação, no que tange a questões como recuperação da fauna e da flora, geração de microclimas locais e melhora da qualidade do ar, é indiscutível, assim como a relevância de seu uso no design biofílico.

O artigo de Miskalo e Schmid (2018), que também deu ênfase a ambientes de escritório, envolveu uma pesquisa sobre a existência de plantas em escritórios, considerando as opiniões dos participantes sobre a presença de vegetação. No estudo, aplicado em Curitiba e Foz do Iguaçu (Paraná), foi identificado que a maioria dos participantes indicaram não possuir plantas e/ou flores no escritório, sendo que a maioria também pontuou que gosta de possuir ou que gostaria de ter plantas e/ou flores no ambiente de trabalho.

Conforme Matias e Deodato (2022), que desenvolveram um estudo sobre potencial benéfico da neuroarquitetura e da biofilia para a qualidade de vida em habitações de interesse social, um espaço enriquecido pela luz natural, cores e cheiros tem o potencial de incentivar a produtividade, além de contribuir na diminuição do estresse cotidiano. O uso de elementos como plantas e materiais naturais no interior de tais edifícios pode servir como uma conexão biofílica, trazendo um significado para o ambiente, e ajudar a manter

o local acolhedor.

As habitações foram os principais tipos de edificações estudados, sendo o foco de 28,13% dos trabalhos. Além disso, cabe pontuar que, uma vez que 87,50% das publicações levantadas teve como técnica metodológica a revisão bibliográfica e 50% dos trabalhos considerou apenas a revisão bibliográfica no seu método, grande parte das estratégias biofílicas identificadas foram abordadas fazendo-se referência a outros autores. Ademais, 25% dos trabalhos envolveram o desenvolvimento de propostas em nível de projeto ou anteprojeto e 12,50% incluíram estudos de caso. Outras técnicas adotadas foram menos presentes, como aplicação de questionário, entrevista e observação. Nesse sentido, nota-se que parte considerável das publicações brasileiras sobre biofilia na construção civil ainda conta com pesquisas de caráter exploratório, o que representa uma oportunidade para avanços em aplicações concretas.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feito um levantamento e um estudo do cenário de publicações brasileiras que discutem a biofilia na construção civil, considerando identificar os estudos que mencionam a sustentabilidade nesse contexto e as estratégias biofílicas mais abordadas pelos autores. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura no Google Acadêmico, considerando um horizonte de pesquisas que abrange artigos de periódicos, trabalhos completos publicados em anais de eventos e livros, publicados desde 2010.

Considerando os critérios de seleção utilizados nesta pesquisa, foram levantados 32 trabalhos, dentre os quais 18 foram artigos publicados em periódicos, 7 trabalhos publicados em anais de eventos e 7 capítulos de livros. Os resultados mostraram o aumento de publicações sobre o assunto nos últimos anos, a partir de 2018. Dentre os trabalhos, 20 abordaram a sustentabilidade.

O Rio Grande do Sul foi o estado com maior número de autores vinculados, porém observou-se que a maioria dos autores que abordaram o tema da sustentabilidade em seus trabalhos esteve vinculado ao Paraná. Nesse sentido, com base no panorama brasileiro levantado, foi identificado que a introdução da biofilia na construção civil associa-se ao desenvolvimento de práticas sustentáveis que identificam na própria natureza soluções resilientes para o ambiente construído.

A análise das estratégias mais mencionadas permitiu identificar técnicas com potencial não apenas para a melhoria da eficiência energética, mas que também podem melhorar o conforto ambiental, aspectos emocionais dos ocupantes e, consequentemente, contribuir para a qualidade de vida das pessoas. Dentre as estratégias, o uso de vegetação se sobressaiu como mais citada, seguida pelo uso de materiais naturais e valorização da iluminação natural.

Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar o contexto geográfico da pesquisa. Nesse âmbito, sugere-se considerar a realização de um levantamento de pesquisas cujo foco é a aplicação da biofilia construção civil, identificando a influência da aplicação prática de estratégias biofílicas em aspectos como melhora da qualidade de vida e eficiência energética.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F.; BRITO, M. E M. dos S. Arquitetura biofílica e seus benefícios no processo de cura das doenças do século XXI. **Revista Científica Multidisciplinar do CEAP**, v. 5, n. 1, 19 jun. 2023. Disponível em: <http://periodicos.ceap.br/index.php/rcmc/article/view/172>. Acesso em: 14 dez. 2024.

BAYULKEN, B.; HUISINGH, D.; FISHER, P. M. J. How are nature based solutions helping in the greening of cities in the context of crises such as climate change and pandemics? A comprehensive review. **Journal Of Cleaner Production**, [s. l.], v. 288, p. 125569, mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620356158?via%3Dihub>. Acesso em: 11 dez. 2024.

BEATLEY, T.; NEWMAN, P. Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities. **Sustainability**, [s. l.], v. 5, n. 8, p. 3328-3345, 5 ago. 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/5/8/3328>. Acesso em: 10 dez. 2024.

BÓSCHI, R.; MOISES, J.; GHISI, T. C. S. Ambientes corporativos: análise de parâmetros de influência na satisfação do usuário. **Percorso Acadêmico**, Belo Horizonte, v. 9, n. 18, p. 140-154, jul./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/percorsoacademico/article/view/21485>. Acesso em: 12 dez. 2024.

BRILLI, F.; FARES, S.; GHIRARDO, A.; VISSER, P. de; CALATAYUD, V.; MUÑOZ, A.; ANNESI-MAESANO, I.; SEBASTIANI, F.; ALIVERNINI, A.; VARRIALE, V. Plants for Sustainable Improvement of Indoor Air Quality. **Trends In Plant Science**, [s. l.], v. 23, n. 6, p. 507-512, jun. 2018. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385\(18\)30046-3](https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385(18)30046-3). Acesso em: 10 dez. 2024.

BRINGSLIMARK, T.; HARTIG, T.; PATIL, G. G. The psychological benefits of indoor plants: a critical review of the experimental literature. **Journal Of Environmental Psychology**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 422-433, dez. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272494409000413?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2024.

BROWNING, W. D.; RYAN, C. O.; CLANCY, J. O. **Patterns of biophilic design**. Nova Iorque: Terrapin Bright Green, LLC, 2014.

CALUETE NETO, P. F.; ARRUDA, A. J. V. Ressignificando a micro habitação pré-fabricada: uma abordagem biomimética. In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 9., 2023, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: [s.n.], 2023. Realização: UFSC.

COSTA, J.; ARRUDA, A. Ambiente construído estressor: o uso dos padrões biofílicos na moradia popular. **IMPACT projects**, Santana do Araguaia, v. 2, n. 1, p. 89–102, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unifesspa.edu.br/index.php/impactprojects/article/view/2267>. Acesso em: 14 dez. 2024.

DOMINGUES, Q. R.; SOUTO, A. E. Arquitetura e clima: análise dos elementos bioclimáticos do projeto Solaris Building do arquiteto Ken Yeang em Singapura. **Scientific Journal ANAP**, Tupã, v. 1, n. 6, p. 726-741, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4290>. Acesso em: 13 dez. 2024.

EL-BAGHDADI, O.; DESHA, C. Conceptualising a biophilic services model for urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 399-408, oct. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866715301114>. Acesso em: 11 dez. 2024.

GILLIS, K.; GATERSLEBEN, B. A Review of Psychological Literature on the Health and Wellbeing Benefits of Biophilic Design. **Buildings**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 948-963, 25 ago. 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/5/3/948>. Acesso em: 10 dez. 2024.

JACQUES, J. J. de; HASSE, S.; PIZZATO, G. Z. de A. Panorama de uso da madeira e derivados em projetos de interiores – Estudo de Caso: Mostras de Arquitetura e Design no RS. **Revista Liberato**, [s. l.], v. 23, n. 40, p. 207–222, 2022. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/809>. Acesso em: 14 dez. 2024.

KELLERT, S. R. The biological basis for human values of nature. **The biophilia hypothesis**, v. 42, p. 69, 1993.

KIM, K. J.; KIL, M. J.; SONG, J. S.; YOO, E. H.; SON, K. C.; KAYS, S. J. Efficiency of Volatile Formaldehyde Removal by Indoor Plants: contribution of aerial plant parts versus the root zone. **Journal Of The American Society For Horticultural Science**, [s. l.], v. 133, n. 4, p. 521-526, jul. 2008. Disponível em: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/133/4/article-p521.xml>. Acesso em: 10 dez. 2024.

LONG, J.; RICE, J. L. From sustainable urbanism to climate urbanism. **Urban Studies**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 992-1008, 21 jun. 2018. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0042098018770846>. Acesso em: 11 dez. 2024.

MATIAS, E. B. S. S. E.; DEODATO, F. A. G. Estratégias da neuroarquitetura e biofilia aplicadas nas habitações de interesse social. In: SALES, Reinaldo Eduardo da Silva; SALES, R. da S.; CASTRO, A. C.; SOUSA, B. A. A. de (org.). **A construção civil**: em uma perspectiva econômica, ambiental e social - volume 2. S. L.: Editora Científica Digital, 2022. Cap. 8. p. 119-134. Disponível em: <https://downloads.editoracentrica.com.br/articles/220509039.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MISKALO, A.; SCHMID, A. L. Plantas e Flores no Escritório: Um Estudo Exploratório. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 6, n. 42, p. 89-102, dez. 2018. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1891. Acesso em: 14 dez. 2024.

OKIMOTO, F. S. Permacultura urbana: políticas públicas para a produção e para a vivência nas cidades durante e pós-pandemia. In: BENINI, S. M.; DIAS, L. S.; SILVA, A. L. C. da; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; PASQUOTTO, G. B.; NASCIMENTO, A. P. B. do; RIBEIRO, A. P.; GULINELI, É. L.; BIERNATH, K. G.; MATTOS, K. A. (org.). **Pandemia do coronavírus**: abordagem multidisciplinar. Tupã: ANAP, 2021. Cap. 19. p. 235-260.

ONU - Organização das Nações Unidas. **COP26 Outcomes**. Disponível em: <https://ukcop26.org/the-conference/cop26-outcomes/>. Acesso em: 11 dez. 2024.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, fev. 2007.

SANTOS, J. S. dos; TORRES, M. C. A. Design biofílico e eficiência energética em centros de saúde: Uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–15. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5919>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SÖDERLUND, J. **The Emergence of Biophilic Design**. [S.l.]: Springer Cham, 2019. 216 p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-29813-5>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ZHONG, W.; SCHRÖDER, T.; BEKKERING, J. Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: a critical review. **Frontiers Of Architectural Research**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 114-141, fev. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263521000479?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2024.

WILSON, E. O. **Biophilia**. Cambridge: Harvard University Press, 1984. 157 p.

CAPÍTULO 9

DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DE *Chrysanthemum paludosum* IRRIGADA COM DIFERENTES DOSES DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO

Data de submissão: 17/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Fátima Cibele Soares

Eng. Agrícola, Prof^a. Associada. Doutora, Curso Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete - RS

Jumar Luis Russi

Eng. Eletricista, Prof^o. Associado. Doutor, Curso Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete - RS,

Natália Machado do Amaral

Eng. Agrícola, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete – RS

Paola da Rosa Lira

Eng. Agrícola, Aluna de programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete - RS

Giordana Trindade de Abreu

Eng. Agrícola, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete – RS

Carine Brum Duran

Eng. Agrícola, Universidade Federal do Pampa/Unipampa, Alegrete – RS

RESUMO: O estudo do déficit hídrico em culturas, bem como a utilização de água resíduária é de suma importância, visto que a água é um recurso em escassez. O presente estudo teve como objetivo estudar o crescimento da margaridinha sob diferentes doses de irrigação com água resíduária. O estudo foi implantado em casa de vegetação, na área experimental do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete/RS. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, bifatorial (doses de irrigação X concentrações de água resíduária da suinocultura). Foram 3 doses de irrigação (100%, 70% e 30% da capacidade de vaso) e 5 concentrações de efluente na água de irrigação: 100% Efluente, 50% Efluente + 50% H₂O, 100% H₂O, 25% Efluente + 75% H₂O e 75% Efluente + 25% H₂O. Cada concentração foi constituída por quatro repetições. Foram avaliados semanalmente: diâmetro de caule, número de nós, número de folhas e área foliar. As melhores respostas da planta ocorreram para lâminas em torno de 70% da CV. As plantas submetidas às irrigações com concentrações de efluente apresentaram os melhores desempenhos. Conclui-se que o uso de água resíduária na

irrigação proporcionou maior desenvolvimento para a cultura em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Chrysanthemum paludosum, flores ornamentais, reuso de água; estratégias de irrigação

IRRIGATION STRATEGIES WITH WASTEWATER IN THE CULTIVATION OF DAISY (CHRYSANTHEMUM PALUDOSUM)

ABSTRACT: The study of water deficit in crops is of paramount importance, since water is a scarce resource. As well as the use of wastewater. The present investigation aimed to study the growth of the daisy under different doses of irrigation with wastewater. The study was implemented in a greenhouse, in the experimental area of the Agricultural Engineering course at the Federal University of Pampa – Campus Alegrete/RS. The experimental design was completely randomized, bifactorial (irrigation doses X concentrations of swine wastewater). There were 3 irrigation doses (100%, 70% and 30% of the vessel capacity) and 5 effluent concentrations: 100% Effluent, 50% Effluent + 50% H₂O, 100% H₂O, 25% Effluent + 75% H₂O and 75% Effluent + 25% H₂O. Each concentration consisted of four replicates. The following were evaluated weekly: stem diameter, number of nodes, number of leaves and leaf area. The best plant responses occurred for water depths around 70% of CV. The plants submitted to irrigation with effluent concentrations showed the best results. It is concluded that the use of wastewater in irrigation provided greater development for the crop under study.

KEYWORDS: Chrysanthemum paludosum, ornamental Flowers, water reuse; irrigation strategies

INTRODUÇÃO

A produção de flores e plantas ornamentais é uma atividade que vem ganhando, ano após ano, notoriedade dentro do setor agrícola (IBRAFLOR, 2017). O Chrysanthemum paludosum pode ser cultivado com finalidade para vaso como para flores de corte (SOUZA et al., 2010).

O segmento da floricultura é uma importante atividade econômica, com uma crescente expansão, tanto para o mercado interno como para exportação. Em relação ao mercado interno, um dos principais motivos é o aumento da renda da população e, consequentemente, o fácil acesso a esses produtos (GESTÃO NO CAMPO, 2019).

A floricultura destina-se, principalmente, a pequenas propriedades rurais, sendo assim, uma possibilidade para a atividade familiar, além da vantagem do rápido retorno econômico, devido ao curto ciclo de flores e plantas ornamentais (TERRA & ZUGË, 2013). Os custos de produção de flores, basicamente, são com mão de obra, construção e manutenção da casa de vegetação e adubação do solo, mostrando-se a rentabilidade da atividade (MORITA et al., 2008).

O manejo da irrigação é de extrema importância, uma vez que a aplicação excessiva ou deficitária de água poderá acarretar redução na produtividade e na qualidade final das flores. Estratégias no manejo de irrigação podem levar a melhores resultados como: o uso

eficiente da água, a produtividade e a qualidade das flores (REGO et al., 2009).

A utilização de água residuária vem de encontro com a escassez dos recursos hídricos e aumento da poluição (PÍCCOLO et al., 2013). Há uma preocupação com a destinação final de resíduos gerados por indústrias, agroindústrias e pelo meio urbano (BATISTA et al., 2013). Os principais resíduos poluidores das reservas hídricas são originados por estes meios. Em regiões de clima árido e semiárido, a prática da agricultura irrigada vem se intensificando e, devido à baixa precipitação e, também, a escassez de água de qualidade, existe o incentivo do uso de água salina, por exemplo, na irrigação (COSTA & BARROS JÚNIOR, 2005).

A eficiência do uso das águas residuárias, no meio agrícola, como fertirrigação tem mostrado ótimos resultados, principalmente quando analisada sua utilização em meios que não envolvam a produção de alimentos para consumo humano (AUGUSTO et al., 2007).

A utilização de águas residuárias está cada vez mais ganhando espaço devido à preocupação com a escassez e a poluição da água do planeta (PÍCCOLO et al., 2013). Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo estudar o crescimento da margaridinha sob diferentes doses de irrigação com água residuária.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com orientação leste-oeste, 29° 47' S, 55° 46'W e altitude de 91 m, localizada no município de Alegrete, na fronteira oeste do Rio Grande do Sul (RS), na área experimental do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete. A estrutura possui área de 105m² (7m x 15m), abertura nas laterais, revestida com cobertura plástica convencional.

A semeadura da margaridinha (*Chrysanthemum paludosum*) foi realizada em bandejas de isopor, com três sementes por célula. Cada célula da bandeja preenchida totalmente com substrato comercial.

Quando as plantas atingiram 10 cm de altura, foi feito o transplante para vasos de plásticos de cor escura (preta), com capacidade de 2,6 litros (0,20m de altura e 0,14m de diâmetro).

O delineamento experimental foi bifatorial (3x5), inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O primeiro fator foram doses de irrigação: 100% da capacidade de vaso - CV (L1); 70% da CV (L2); 30% da CV (L3) e, o segundo, as concentrações da água residuária da suinocultura na água de irrigação (efluente + água de abastecimento da cidade, fornecida pela concessionária CORSAN – H₂O. Quanto às concentrações da água residuária, utilizou-se as seguintes concentrações: 100% Efluente (T1), 50% Efluente + 50% H₂O (T2), 100% H₂O (T3), 25% Efluente+ 75% H₂O (T4) e 75% Efluente + 25% H₂O (T5).

Para a determinação da quantidade de água aplicada nas irrigações, foi realizado o

ensaio de CV, seguindo a metodologia de KÄMPF et al. (2006). Após sua definição foram determinadas as lâminas de irrigação.

A determinação do consumo hídrico ocorreu através da pesagem do vaso, com substrato mais planta, antes e após a irrigação, com a drenagem da água que percola no perfil, assim obteve-se a variação entre a massa de substrato e a água existente em um determinado intervalo de tempo e, consequentemente, a massa de substrato e água remanescente ao final do intervalo de tempo considerado.

O consumo da água pela planta foi determinado pela Equação, segundo Thornthwaite & Mather (1955),

$$Etc = \sum_{i=1}^L M_i - \sum_{i=1}^L M_{i+1} + I - D \quad \dots(2)$$

Onde:

Etc = evapotranspiração real da cultura no início de um dado intervalo de tempo (unidade?);

M_i = massa de substrato e água contida no vaso no início de um dado intervalo de tempo (gramas);

$M_i + 1$ = massa de substrato e água remanescente no final do intervalo de tempo considerado (gramas);

I = irrigação aplicada no intervalo Δt ;

D = drenagem que ocorre no tempo Δt .

No decorrer do experimento foram realizadas avaliações de diâmetro de caule, número de nós, número de folhas e área foliar. As avaliações foram feitas semanalmente, em todas as unidades experimentais.

Todos os dados coletados durante o ciclo da cultura, foram processados, e seguidamente, com o auxílio do Sisvar, foram analisados. A análise foi baseada no delineamento experimental bifatorial, sendo testada a interação entre os fatores: diluições e lâminas de irrigação, a 5% ($p<0,05$) de probabilidade pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura, a temperatura média foi de 17,13°C, com temperatura mínima de 10,2°C e temperatura máxima entre 24 e 30,7°C. A semeadura da margaridinha, para a região sul do Brasil é indicada para os meses de julho a novembro, estação de inverno e primavera. Como a margaridinha é ideal para ser cultivada em clima subtropical e tropical, acaba por tolerar uma grande amplitude térmica. A espécie tolera temperatura média variando entre 20 e 22°C, mínimas entre 0 e 10°C e as máximas podendo chegar até 35°C, o que foi observado nos resultados encontrados nesse trabalho.

A figura 1 apresentado o consumo de água da cultura *Chrysanthemum paludosum*,

em relação aos tratamentos com doses de diluição nas diferentes lâminas de irrigação testadas.

As maiores médias de consumo de água foram obtidas para os tratamentos que continham o efluente de suinocultura em sua concentração e para a lâmina com 100% da CV. Observou-se que o maior consumo médio diário ocorreu no tratamento com 100% efluente da suinocultura, com consumo de $1,71 \text{ mm.dia}^{-1}$, para a lâmina com 100% da CV. No entanto, para a mesma concentração de efluente, observou-se na lâmina com 30% da CV, o menor consumo de água ($0,73 \text{ mm.dia}^{-1}$), entre todos os tratamentos.

Contudo, observando nos tratamentos com 100% de H₂O, os menores consumos de água, para todas as lâminas testadas. Porém, o maior consumo de água para o tratamento testemunha se deu na lâmina referente a 70% da CV, com $1,22 \text{ mm.dia}^{-1}$. Posse et al. (2008) obteve evapotranspiração média de $1,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ em todo o ciclo da cultura do mamoeiro. Wrege & Lunardi (2006), encontraram $3,3 \text{ mm}$ de evaporação média diária em crisântemos, isso resulta em uma demanda de água de 296 mm , para um ciclo de 90 dias.

Farias et al. (2003), encontraram $4,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ como a menor lâmina diária consumida quando estudaram a qualidade comercial de crisântemo em vaso. Enquanto Farias et al. (2004), encontraram $3,97 \text{ mm.dia}^{-1}$ como a menor lâmina diária consumida no estudo com crisântemo em vaso.

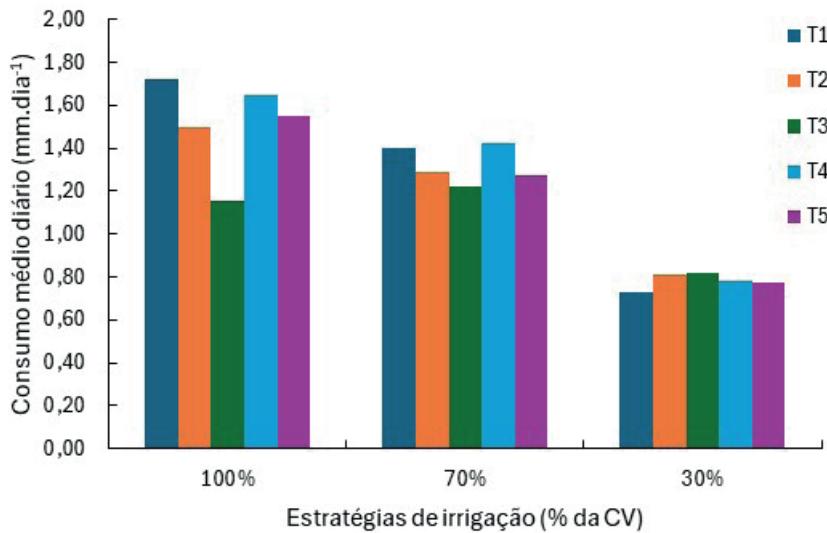


Figura 1. Consumo de água da cultura *Chrysanthemum paludosum* em função das estratégias de irrigação, para os diferentes tratamentos com concentrações da água resíduária da suinocultura na água de irrigação.

Através da análise de variância, observou-se que a interação entre os fatores, doses de concentração do efluente e lâminas de irrigação, foi significativa apenas para número

de folhas (Figura 2a) e número de nós (Figura 2b). Houve diferença significativa entre as doses de efluentes, para o número de nós (Figura 3a), número de folhas (Figura 3b) e área foliar (cm^2) (Figura 3c). Para as lâminas de irrigação ocorreu interação significativa para número de nós (Figura 3d) e área foliar (Figura 3e). No entanto, o diâmetro de caule não apresentou diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, aos fatores estudados.

As plantas submetidas as doses de irrigação com 75% de efluente + 25% de H_2O apresentaram os maiores números de folhas, enquanto nas plantas submetidas a doses de 100% de H_2O observou-se os menores valores, para a variável em análise (Figura 2a). Comportamento semelhante foi observado na análise da interação entre os fatores para o número de nós por plantas (Figura 2b).

As figuras 3a, 3b e 3c mostram os valores médios do parâmetro número de nós, número de folhas e área foliar, respectivamente, em relação às doses de concentração de efluente. O tratamento com 100% efluente obteve a maior média de número de nós, sendo 45 nós por planta. Ao analisar o comportamento do número de folhas (Figura 3b), o maior número de folhas foi obtido para o tratamento com 25% H_2O e 75% efluente, com 425 folhas. Enquanto a máxima eficiência técnica (MET) correspondeu a diluição de 71% de efluente, proporcionando 359 folhas por planta. Conforme a figura 3c, o tratamento com 50% H_2O e 50% efluente de suinocultura, obteve maior valor de área foliar, sendo 19 cm^2 . A MET correspondeu à dose de diluição de 59% de efluente com 19 cm^2 de área foliar.

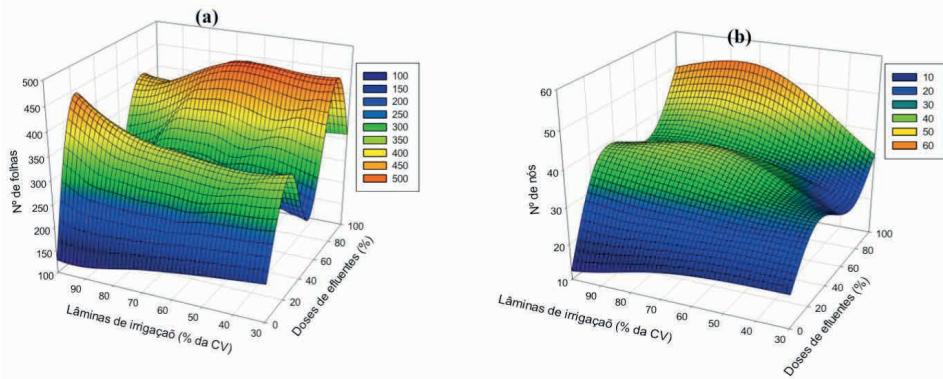


FIGURA 2. Número de folhas (a) e número de nós (b) em relação às lâminas de irrigação e doses de diluição.

Os resultados dos estudos desenvolvido por SANTOS et al. (2011) e SOUZA et al. (2010) corroboram com os encontrados neste experimento. Os autores verificaram que o suprimento hídrico da cultura do girassol com água residiária favoreceu o aumento no desenvolvimento e crescimento das plantas. As figuras 3d e 3e mostram os valores médios dos parâmetros número de nós e área foliar, respectivamente, em relação as lâminas de irrigação. A lâmina de irrigação com reposição de 70% da CV, obteve a maior média de

número de nós (36 nós), com MET correspondeu à lâmina de 78% da CV com 36 nós por planta. Para o parâmetro de área foliar, o maior valor, 18 cm² foi encontrada para a lâmina de 70% da CV (Figura 3e), a MET corresponde a lâmina de 78% da CV com área de 18 cm².

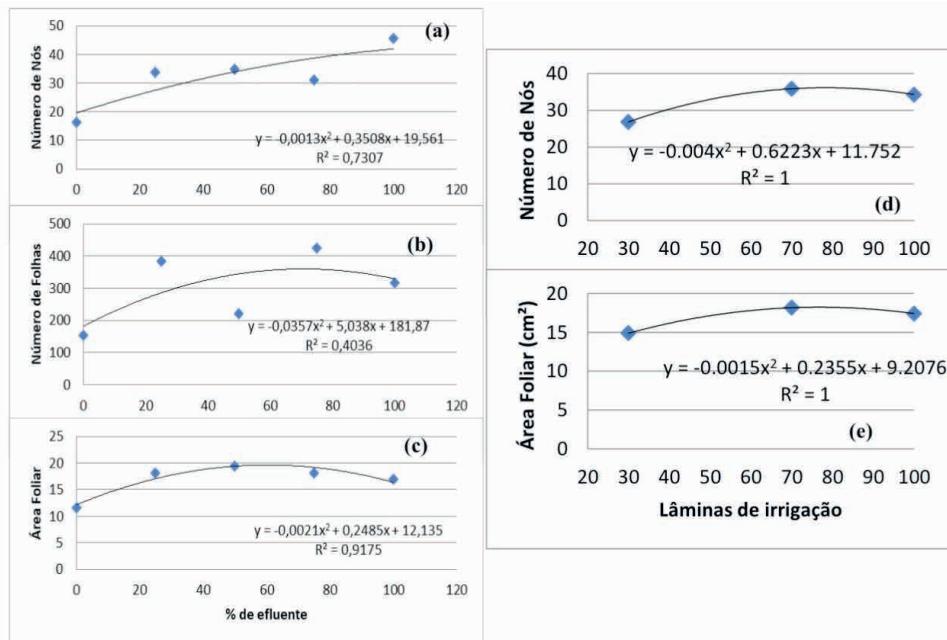


FIGURA 3. Número de nós (a), número de folhas (b) e área foliar (c) em relação às doses de diluição e o número de nós (d) e área foliar (e) em relação às lâminas de irrigação.

CONCLUSÕES

As doses de irrigação apresentaram máxima eficiência técnica em torno de 78% da CV para o número de nós e área foliar. Todas as concentrações de efluente de suinocultura, são satisfatórias, elas proporcionam bons rendimentos à planta e, também suprem a necessidade de fertilizante na margaridinha, visto que é uma planta que necessita de adubação para se desenvolver.

REFERÊNCIAS

FARIAS, M. F.; et al.. Manejo da irrigação na cultura do crisântemo em vaso, cultivar Rage, cultivado em ambiente protegido. Eng. Agríc., v.24, n.1, p. 51-56. Jaboticabal, janeiro/abril de 2004.

FARIAS, M. F.; et al.. Qualidade comercial do crisântemo de vaso em ambiente protegido, cultivar Puritan, irrigado sob diferentes tensões de água no substrato. Irriga, v.8, n.2, p.160-167. Botucatu, maio/agosto de 2003.

IBRAFLOR. Instituto Brasileiro de Floricultura. **Informativo Ibraflor**. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/>>. Acesso em: 26 set. 2018.

KÄMPF, A. N.; TAKENE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. D. **Floricultura: técnica de preparo de substratos**. LK Editora e comunicação, p. 132. Brasília, DF, 2006.

PÍCCOLO, M. A.; COELHO, F. C.; CRAVINA, G. do A.; MARCIANO, C. R.; RANGEL, O. J. P. Produção de forragem verde hidropônica de milho, utilizando substratos orgânicos e água residiária de bovinos. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 60, n.4, p. 544-551, 2013.

POSSE, R. P.; et al. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. **Eng. Agríc.**, v.28, n.4, p.681-690, outubro/dezembro, 2008.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H.R.; GUEDES FILHO, D. H.; DIAS, N.da. S.; SOARES, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

SOUZA, A. R. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; SOARES, F. C.; PARIZI, A.R.C.; FERRAZ, F. C. Consumo hídrico e desempenho de Kalanchoe cultivado em substratos alternativos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, núm. 3, p. 534-540. 2010.

SOUZA, M. de S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residiária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n.2, p. 125-133, 2010.

WREGE, M. S.; LUNARDI, D. M. C. Evapotranspiração e coeficiente da cultura (Kc) do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* var. *Polaris Amarelo*). **Revista Bras. Agrometeorologia**, vol. 14, n.1, p. 43-52, 2006.

CAPÍTULO 10

SISTEMAS PERIÓDICOS: PRINCIPIO DE INVARIANCIA UNIFORME

Data de submissão: 18/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Wendhel Raffa Coimbra

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Paranaíba, MS, Campus de Paranaíba, CPAR, Paranaíba, MS

Luís Fernando Alberto Costa

Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP
Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, EESC, São Carlos, SP

Trabalho apresentado no DINCON, Natal - RN, 2015.

RESUMO: Uma versão uniforme do princípio de invariância de LaSalle para sistemas periódicos é proposto e demonstrado neste trabalho. Esta versão é útil para obter estimativas uniformes, com relação aos parâmetros, do atrator e da região de atração de um sistema dinâmico periódico.

PALAVRAS-CHAVE: Princípio de Invariância, Uniforme, LaSalle, Sistema Dinâmico, Periódico

1 | INTRODUÇÃO

O Princípio de Invariância de LaSalle [3, 4] estuda o comportamento assintótico das soluções de um sistema sem a necessidade de conhecer explicitamente as soluções das equações diferenciais. Para isto, uma função escalar auxiliar, usualmente denominada função de Lyapunov, é utilizada. Mesmo sendo um resultado de extrema importância em diversas aplicações, apresenta alguns problemas, sendo o principal deles a não existência de um método específico para encontrar a função escalar auxiliar ou também chamada função de Lyapunov. Uma das condições mais restritivas na busca por esta função é que a derivada da mesma deve ser semi-definida negativa ao longo das trajetórias do sistema. Em vários sistemas, é difícil encontrar uma função escalar satisfazendo as condições do princípio de invariância e em particular satisfazendo a condição da derivada ser semi-definida negativa.

Uma versão mais geral do princípio

de invariância, denominada extensão do princípio de invariância de LaSalle, simplifica em parte este problema, permitindo que a derivada da função escalar assuma valores positivos em algumas regiões limitadas do espaço. Esta extensão foi provada para outras classes de sistemas [1,6,8,10,11]. Além da sua importância na teoria de estabilidade de sistemas dinâmicos não lineares, a extensão do princípio de invariância foi aplicada com sucesso em problemas de análise de estabilidade de sistemas elétricos de potência [2], e em problemas de sincronização [5, 8, 10].

Neste trabalho, investigamos a existência de um princípio de invariância uniforme para a classe de sistemas periódicos. Este resultado é útil para obter estimativas de atratores uniformes com respeito a seus parâmetros.

2 | EXTENSÃO DO PRINCÍPIO DE INVARIÂNCIA PARA SISTEMAS PERIÓDICOS

Nesta seção, uma revisão do princípio de invariância para sistemas periódicos [12] e sua extensão é apresentada. Considere o sistema dinâmico não autônomo não linear

$$\dot{x} = f(t, x) \quad (1)$$

onde $x \in \mathbb{R}^n$, $t \in \mathbb{R}$ e $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ é de classe C^1 . As soluções de (1) iniciando em x_0 no tempo t_0 serão denotadas por $s(t, t_0, x_0)$.

Antes de apresentarmos o teorema do princípio de invariância para sistemas periódicos, necessitamos definir alguns conjuntos de nível. Dado uma função escalar $V: \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ de classe C^1 , saõ eles: $S(L) := \{x \in \mathbb{R}^n : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } V(t, x) \leq L\}$, $A(L) := \{x \in \mathbb{R}^n : V(t, x) < L, \forall t \in \mathbb{R}\}$ e $S(l) := \{x \in \mathbb{R}^n : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } V(t, x) \leq l\}$, $A(l) := \{x \in \mathbb{R}^n : V(t, x) < l, \forall t \in \mathbb{R}\}$.

Sob certas condições sobre a derivada da função escalar V , podemos mostrar que os conjuntos de nível $S(L)$ e $A(L)$ possuem algumas propriedades de invariância, a qual omitiremos aqui [7]. Assim, apresentamos o princípio de invariância para sistemas periódicos.

Teorema 2.1. [12] *[Princípio de Invariância para Sistemas Periódicos]* Suponha que o sistema (1) seja periódico e $V: \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ seja uma função de classe C^1 tal que V seja periódica e com o mesmo período do sistema (1). Seja $L \in \mathbb{R}$ uma constante real, e considere os conjuntos $S(L)$ e $A(L)$. Suponha que $S(L)$ seja limitado e $\dot{V}(t, x) \leq 0, \forall t \in \mathbb{R}, \forall x \in S(L)$. Defina $E := \{x \in S(L) : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } \dot{V}(t, x) = 0\}$. Seja B o maior conjunto invariante contido em E . Entaõ: (i) $x_0 \in A(L) \Rightarrow s(t, t_0, x_0) \rightarrow B$ quando $t \rightarrow +\infty$ para todo $t_0 \in \mathbb{R}$; (ii) $x_0 \in S(L) \Rightarrow \exists t_0 \text{ tal que } s(t, t_0, x_0) \rightarrow B$ quando $t \rightarrow +\infty$.

A extensão do princípio de invariância de LaSalle para sistemas periódicos é apresentada, omitindo sua demonstração [7]. A característica fundamental desta extensão é a possibilidade da derivada da função escalar auxiliar V assumir valores positivos em algumas regiões limitadas do espaço de estados. Alguns lemas estudam a invariância de $S(L)$ e $A(L)$ quando $\dot{V} > 0$. Com esses resultados, entre outros [7], apresentaremos o teorema.

Teorema 2.2. [7][Extensão do Princípio de Invariância para Sistemas Periódicos]

Suponha que o sistema (1) seja periódico e $V : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ seja uma função de classe C^1 tal que V seja periódica e com o mesmo período do sistema (1). Seja $L \in \mathbb{R}$ uma constante real, e considere os conjuntos $S(L)$ e $A(L)$. Suponha que $S(L)$ seja limitado. Seja $C \supseteq \{x \in S(L) : \exists t, \dot{V}(t, x) > 0\}$ e admita que $\sup_{t \in [0, T]} \dot{V}(t, x) = 1 < L$. Defina $S(I)$, $A(I)$ e $E := \{x \in S(L) : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } \dot{V}(t, x) = 0\} \cup S(I)$. Seja B o maior conjunto invariante contido em E . Então: (i) $x_0 \in A(L) \Rightarrow d(s(t, t_0, x_0), B) \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$ para todo $t_0 \in \mathbb{R}$; (ii) $x_0 \in S(L) \Rightarrow \exists t_0 \text{ tal que } d(s(t, t_0, x_0), B) \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$; (iii) $x_0 \in A(I) \Rightarrow s(t, t_0, x_0)$ tende para o maior conjunto invariante contido em $S(I)$ para todo $t_0 \in \mathbb{R}$; (iv) $x_0 \in S(I) \Rightarrow \exists t_0 \text{ tal que } s(t, t_0, x_0)$ tende para o maior conjunto invariante contido em $S(I)$.

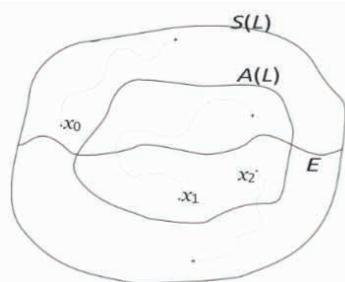


Figura 1: As soluções que iniciam em $A(L)$ não saem de $S(L)$, e para as soluções iniciando em $S(L)$, existe t_0 tal que a solução iniciando neste tempo não sai de $S(L)$.

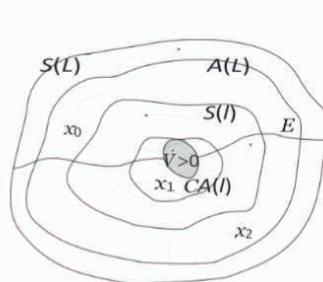


Figura 2: As soluções que iniciam em $A(I)$ não saem de $S(I)$. As soluções iniciando em $A(L)$ não saem de $S(L)$ e, uma vez entrando em $S(I)$, não saem de $S(I)$.

As Figuras 1 e 2 ilustram geometricamente os resultados dos Teoremas 2.1 e 2.2, respectivamente.

3 I PRINCÍPIO DE INVARIÂNCIA UNIFORME PARA SISTEMAS PERIÓDICOS

Nesta seção consideramos incertezas nos parâmetros do sistema e desenvolvemos um Princípio de Invariância Uniforme. O princípio de invariância uniforme para sistemas periódicos é útil para obter estimativas de atratores uniformes com respeito a seus parâmetros. Considere o sistema dinâmico não autônomo não linear

$$\dot{x} = f(t, x, \lambda) \quad (2)$$

onde $x \in \mathbb{R}^n$, $t \in \mathbb{R}$ e $\lambda \in \Lambda \subset \mathbb{R}^m$ é um vetor de parâmetros do sistema. Seja $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \Lambda \rightarrow \mathbb{R}^n$ uma função de classe C^1 .

Teorema 3.1 (Princípio de Invariância Uniforme para Sistemas Periódicos). Suponha que o sistema (2) seja periódico, que $V : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \Lambda \rightarrow \mathbb{R}$ seja uma função de classe C^1 tal que V seja periódica e com o mesmo período do sistema (2) e $a, b, c : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ sejam funções contínuas e periódicas, com o mesmo período do sistema (2). Admita que para qualquer $(t, x, \lambda) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \Lambda$, tem-se $a(t, x) \leq V(t, x, \lambda) \leq b(t, x)$, $-\dot{V}(t, x, \lambda) \geq c(t, x)$. Para $L >$

0, seja $S(L) := \{x \in \mathbb{R}^n : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } a(t, x) \leq L\}$. Admita que $S(L)$ seja não-vazio e limitado. Considere os conjuntos $A(L) := \{x \in \mathbb{R}^n : b(t, x) < L, \forall t \in \mathbb{R}\}$, $C \supseteq \{x \in A(L) : \exists t \text{ tal que } c(t, x) < 0\}$. Suponha que $\sup(t, x) \in [0, T] \times C$ $b(t, x) \leq l < L$ e defina os conjuntos $S(l) := \{x \in \mathbb{R}^n : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } a(t, x) \leq l\}$ e $A(l) := \{x \in \mathbb{R}^n : b(t, x) < l, \forall t \in \mathbb{R}\}$. Defina $E := \{x \in S(L) : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } c(t, x) = 0\} \cup S(l)$ e seja B o maior conjunto invariante contido em E . Se λ é um parâmetro fixo em Λ e todas as condições são satisfeitas, então para $x_0 \in A(L)$ a solução $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ é definida em $[t_0, \infty)$ e as seguintes conclusões são obtidas: (i) Se $x_0 \in A(l)$ então $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in S(l)$ para $t > t_0$ e $d(s(t, t_0, x_0, \lambda), B) \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$ para todo $t_0 \in \mathbb{R}$; (ii) Se $x_0 \in A(L) - A(l)$, então $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ não sai de $S(L)$ e $d(s(t, t_0, x_0, \lambda), B) \rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$ para todo $t_0 \in \mathbb{R}$.

Demonstração. Provaremos primeiramente a afirmação (i). Sejam $x_0 \in A(l)$ e $[t_0, \omega_p)$ o intervalo maximal de existência da solução $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ de (2). Suponha que existe $\bar{t} \in [t_0, \omega_p)$ tal que $s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda) \in S(l)$. Então, temos que $V(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda)) \leq b(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda)) \leq l$ e $V(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \geq a(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda)) > l$, o que implica que existe $\tilde{t} < \bar{t}$ tal que $V(\tilde{t}, s(\tilde{t}, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = l$ e $b(t, s(t, t_0, x_0, \lambda)) \geq V(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) > l$ para $t \in (\tilde{t}, \bar{t})$. Logo $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in A(l)$ para $t \in (\tilde{t}, \bar{t})$, o que nos leva a uma contradição, pois $-\dot{V}(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \geq c(t, s(t, t_0, x_0, \lambda)) \geq 0$, o que significa que $V(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda)$ é uma função decrescente de t neste intervalo. Como $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in S(l) \subset S(L)$, $\forall t \geq t_0$ e $S(L)$ é limitado para $t \geq t_0$, então $S(l)$ é limitado para $t \geq t_0$, o que implica que $\omega_p = \infty$ e portanto $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in S(l), \forall t \in [t_0, \infty)$. Portanto, temos que o conjunto Ω -limite, $\Omega(t_0, x_0, \lambda) = \Omega_\lambda$, é não-vazio e a solução $s(t, t_0, x_0, \lambda) \rightarrow \Omega_\lambda$ quando $t \rightarrow \infty$. Como Ω_λ é um conjunto invariante [7] e $\Omega_\lambda \subset S(l)$, então a solução $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ tende para o maior conjunto invariante de (2) contido em $S(l)$, quando $t \rightarrow \infty$, provando assim a afirmação (i).

Para provar a afirmação (ii), considere $x_0 \in A(L) - A(l)$ e seja $[t_0, \omega_p)$ o intervalo maximal de existência da solução $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ de (2). Se existir t^* tal que $s(t^*, t_0, x_0, \lambda) \in A(l)$, então o problema se reduz ao item anterior. Suponha agora que $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in A(l)$ para $t \in [t_0, \omega_p)$ e portanto $s(t, t_0, x_0, \lambda) \notin C$ para $t \in [t_0, \omega_p)$. Se existe $\bar{t} \in [t_0, \omega_p)$ tal que $s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda) \notin S(L)$ então $L \leq a(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda)) \leq V(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda), \lambda)$ e $V(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq b(\bar{t}, s(\bar{t}, t_0, x_0, \lambda)) < L$, contradição, uma vez que fora de $A(l)$ temos que $\dot{V}(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq 0$. Para o tempo $t \in [t_0, \omega_p)$, temos que $a(t, s(t, t_0, x_0, \lambda)) \leq V(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq V(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq b(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda)) = b(t_0, x_0) \leq L$ e portanto, $s(t, t_0, x_0, \lambda) \in S(L), \forall t \in [t_0, \omega_p)$, $\forall \lambda$. Como $S(L)$ é limitado então $\omega_p = \infty$. Sendo Ω_λ o conjunto Ω -limite de $s(t, t_0, x_0, \lambda)$, temos que $\Omega_\lambda \subset \{x \in \mathbb{R}^n : t \geq t_0, a(t, x) \leq b(t_0, x_0)\}$.

Como $s(t, t_0, x_0, \lambda) \notin C, \forall t \geq t_0$, então $-\dot{V}(t, x, \lambda) \geq c(t, x) > 0, \forall t \geq t_0$, implicando em $-\dot{V}(t, x, \lambda) > 0, \forall t \geq t_0$, isto é, $V(t, x, \lambda) \leq 0$. Assim, V é uma função decrescente e então $V(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq V(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda), \lambda) \leq b(t_0, s(t_0, t_0, x_0, \lambda)) = b(t_0, x_0) < L$. Por hipótese V é contínua e periódica em t e, por $S(L)$ ser limitado, então V é limitada, em particular, inferiormente limitada para $t \geq t_0$, então $\lim_{i \rightarrow \infty} V(t, s(t, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = a \in \mathbb{R}$. Seja $p \in \Omega_\lambda$. Então existe uma sequência $\{t_i\}$, $t_i \rightarrow \infty$ tal que $s(t_i, t_0, x_0, \lambda) \rightarrow p$. Para cada i , encontra-se $k_i \in \mathbb{Z}$ tal que $t_i - k_i T \in [0, T]$. Então a sequência $\{\tau_i\} = \{t_i - k_i T\}$ é limitada, e portanto admite uma

subsequência convergente. Escolha tal subsequência $\{\tau'_i\} = \{t'_i - k'_i T\}$ e enumere mais uma vez como $\{\tau'_i\}_{\text{period.dav}}$. Seja $\tau \in [0, T)$ seu limite. $V(t'_i, s(t'_i, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = V(\tau'_i + k'_i T, s(t'_i, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = V(\tau'_i, s(t'_i, t_0, x_0, \lambda), \lambda)$, onde $t'_i = \tau'_i + k'_i T$. Então podemos concluir que $a = \lim_{i \rightarrow \infty} V(t'_i, s(t'_i, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = \lim_{i \rightarrow \infty} V(\tau'_i, s(t'_i, t_0, x_0, \lambda), \lambda)$ cont. da $VV(\tau, p, \lambda)$, implicando em $V(\tau, p, \lambda) = a$.

Vamos mostrar que $V(u, s(u, \tau, p, \lambda), \lambda) = a, \forall u \in \mathbb{R}$. Temos que $s(u + k_i T, t_0, x_0, \lambda) \rightarrow \text{period. da } V(s(u, \tau, p, \lambda))$ quando $i \rightarrow \infty$ [7]. Logo, $a = \lim_{i \rightarrow \infty} V(u + k_i T, s(u + k_i T, t_0, x_0, \lambda), \lambda) = \lim_{i \rightarrow \infty} V(u, s(u + k_i T, t_0, x_0, \lambda), \lambda)$ period. da $V(u, s(u, \tau, p, \lambda), \lambda)$. Como Ω_λ é um conjunto invariante $i \rightarrow \infty$ então $s(u, \tau, p, \lambda) \in \Omega_\lambda, \forall u$. Portanto $V(u, s(u, \tau, p, \lambda), \lambda) = a, \forall u \Rightarrow \dot{V}(\tau, p, \lambda) = 0$.

Como $C \cap \Omega_\lambda = \emptyset$ e $\Omega_\lambda \subset S(L)$ então $0 = -V(t, x, \lambda) \geq c(t, x)$ para $x \in \Omega_\lambda$ e $t \geq t_0$. Logo $\Omega_\lambda \subset E$ e portanto $s(t, t_0, x_0, \lambda)$ tende para o maior conjunto invariante de (2) contido em E , quando $t \rightarrow \infty$. Portanto, provamos a segunda afirmação do teorema.

Com a existência das funções a, b e c , as quais não dependem dos parâmetros do sistema, é garantida a uniformidade com relação aos parâmetros. A Figura 3 representa o Teorema 3.1.

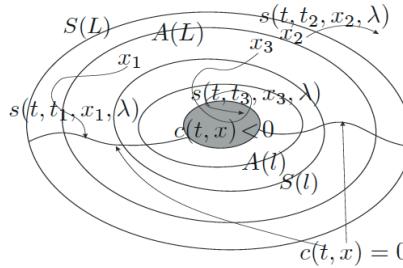


Figura 3: As soluções iniciando em $A(L)$ não saem de $S(L)$. Para as soluções iniciando em $S(L) - A(L)$ nada se pode concluir (observe que a solução iniciando em x_2 deixa o conjunto $S(L)$ e não retorna). As soluções que entram em $A(t)$ não saem de $S(t)$.

Exemplo 3.1. Considere o sistema dinâmico não linear e periódico descrito pela equação diferencial: $\dot{x} = -x(x^2 + y^2 - 1) + y(a + \sin(t))$; $\dot{y} = -x(a + \sin(t)) - y(x^2 + y^2 - 1)$ (3), onde a é um parâmetro do sistema. Seu valor nominal é $a = 2$ e existe uma incerteza.

De $\pm 5\%$ em sua determinação deste parâmetro. Portanto, o parâmetro pertence ao seguinte subconjunto de \mathbb{R} : $\Lambda := \{\lambda := a \in \mathbb{R} : a_m \leq a \leq a_M\}$, onde $a_m = 1, 9$ e $a_M = 2, 1$.

Vamos empregar o princípio de invariância uniforme (Teorema 3.1) para obter uma estimativa do atrator uniforme com respeito a seus parâmetros.

Considere a função $V(a, t, x, y) = \frac{x^2 + y^2}{\alpha + \sin(t)}$ que é uma função periódica com o mesmo período do sistema (2). Podemos escolher as funções a e b como sendo $a(t, x, y) = \frac{x^2 + y^2}{\alpha_M + \sin(t)}$ e $b(t, x, y) = \frac{x^2 + y^2}{\alpha_m + \sin(t)}$. Calculando a derivada de V ao longo das soluções 2 2 de (2), obtém-se a seguinte estimativa: $\dot{V}(a, t, x, y) = -\frac{(x^2 + y^2)}{(\alpha + \sin(t))^2} [2(x^2 + y^2 - 1)(a + \sin(t))]$

+ $\cos(t)$]. Temos que: $-\dot{V} \geq \frac{2(x^2+y^2)^2}{\alpha_M+1} - \frac{(x^2+y^2)}{(\alpha_m-1)^2} [1 + 2(\alpha_m - 1)] = c(t, x, y) := (x^2 + y^2) [Y(x^2 + y^2) - \beta]$, onde $\gamma = \frac{2}{\alpha_M+1}$ e $\beta = \frac{1+2(\alpha_m-1)}{(\alpha_m-1)^2}$. Observe que $c(t, x, y) < 0$ se, e somente se $x^2+y^2 < \frac{\beta}{\gamma}$. Definindo o conjunto $C := \{x \in S(L) : \exists t \in \mathbb{R} \text{ tal que } x^2 + y^2 < \frac{\beta}{\gamma}\}$, temos que $\sup_{(t, x) \in [0, T] \times C} b(t, x) = \sup_{(t, x) \in [0, T] \times C} \frac{x^2 + y^2}{\alpha_m + \sin(t)} = \sup_{x \in C} \frac{x^2 + y^2}{\alpha_m - 1} = \frac{\beta}{\gamma(\alpha_m - 1)} = 5,9534 < l := 5,96$. Logo, $S(l) := \{(x, y) \in \mathbb{R}^n; x^2 + y^2 < 18,476\}$ e $A(l) := \{(x, y) \in \mathbb{R}^n; x^2 + y^2 < 5,96\}$. Portanto, as hipóteses do Teorema 3.1 são satisfeitas e então temos que as soluções tendem para o maior conjunto invariante contido em $S(l)$.

A estimativa anterior assim como uma representação numérica do atrator estão mostradas na Figura 4 para dois vetores de parâmetros diferentes. A circunferência externa é representada conjunto $S(l)$ e a circunferência interna conjunto $A(l)$.

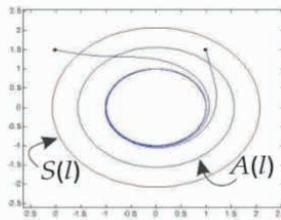


Figura 4: Estimativa uniforme do atrator global do sistema (3) para $\alpha_m = 1, 9$ e $\alpha_M = 2, 1$. As trajetórias iniciando nos pontos $(1, 1, 5)$ e $(-2, 1, 5)$, para $\alpha = 2$, tendem para o mesmo atrator periódico dentro de $S(l)$.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, um princípio de invariância uniforme para a classe de sistemas periódicos foi demonstrado. A principal característica deste resultado é a possibilidade de considerarmos incertezas na determinação dos parâmetros do sistema. Este resultado foi útil para obtermos estimativas de atratores uniformes, com respeito a seus parâmetros, de sistemas periódicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos amigos do laboratório LACO/EESC/USP que ajudaram na parte computacional e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] L.F.C. Alberto, T.R. Calliero, A.C.P. Martins and N.G. Bretas, An Invariance Principle for Nonlinear Discrete Autonomous Dynamical Systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 52, 692–697, (2007).
- [2] N.G. Bretas and L.F.C. Alberto, Lyapunov Function for Power System with Transfer Conductances: Extension of the Invariance Principle, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 18, 769–777 (2003).

- [3] J.P. LaSalle, Some extensions of liapunov's second method, IRE Trans. on Circuit Theory, vol. CT-7, 520–527, (1960).
- [4] J.P. LaSalle, The extent of asymptotic stability, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 46, 363–365, (1960).
- [5] A.P. Mijolaro, L.F.C. Alberto and N.G. Bretas, Synchronization of a Class of Second- Order Nonlinear Systems, International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, vol. 18, 3461–3471, (2010).
- [6] M. Rabelo and L.F.C. Alberto, An Extension of the Invariance Principle for a Class of Differential Equations with Finite Delay, Advances in Difference Equations, vol. 2010, 1–14, (2010).
- [7] W.C. Raffa, L.F.C. Alberto e F.M. Amaral, Uma Extensão do Princípio de Invariância para Sistemas Periódicos, XX Congresso Brasileiro de Automática - CBA, vol. 1, 272– 279, (2014).
- [8] H.M. Rodrigues, L.F.C. Alberto and N.G. Bretas, On the Invariance Principle. Generalizations and Applications to Synchronization, IEEE Transactions on Circuits and Systems. I, Fundamental Theory and Applications, vol. 47, 730–739, (2000).
- [9] H.M. Rodrigues, L.F.C. Alberto and N.G. Bretas, On the Invariance Principle. Uniform Invariance Principle and Synchronization. Robustness with respect to parameter variation, Journal of Differential Equations, vol. 169, 228–254, (2001).
- [10] H.M. Rodrigues, J. Wu and L.R.A. Gabriel Filho, On the Invariance Principle. Uniform Dissipativeness and Robust Synchronization of Parametrized Discrete Systems: Location of the Attractor, International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, vol. 21, 1–14, (2011).
- [11] M.C. Valentino, V.A. Oliveira, L.F.C. Alberto and D.S. Azevedo, An extension of the invariance principle for dwell-time switched nonlinear systems, Systems & Control Letters, vol. 61, 580–586, (2012).
- [12] M. Vidyasagar, Nonlinear Systems Analysis, PRENTICE HALL, Englewood Cliffs, New Jersey - Second Edition, (1993).

PARAMETER ESTIMATION OF A VECTOR HYSTERESIS MODEL USING GENETIC ALGORITHMS

Data de submissão: 26/12/2024

Data de aceite: 02/01/2025

Lesly Daiana Barbosa Sobrado

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Matemática Rio de Janeiro –
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/5520816294622415>

Filomena Barbosa Rodrigues Mendes

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Departamento Acadêmico de
Elétrica
Pato Branco - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1945890297316691>

Jean Viane Leite

Universidade Federal de Santa Catarina,
Grupo de Concepção e Análise de
Dispositivos Eletromagnéticos
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/8595245291065003>

Nelson Jhoe Batistela

Universidade Federal de Santa Catarina,
Grupo de Concepção e Análise de
Dispositivos Eletromagnéticos
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/5387328100140459>

ABSTRACT: The laboratory for designing and analyzing electromagnetic devices (GRUCAD) received samples of non-oriented grain silicon steel. Two

measurements of the magnetic field strength versus magnetic flux density curves were performed. This chapter presents a novel method for extracting the ten bidimensional magnetic hysteresis parameters of the Jiles-Atherton vector model to model the experimental curves. The procedure is based on the genetic algorithms method and ensures a strong agreement between the calculated hysteresis and the experimental curves. This provides reliable validation for the ten computed parameters. Additionally, the paper demonstrates a practical application of these parameters. With the ten parameters, it is possible to obtain two anhysteretic curves. The ascending data in the first quadrant represents the initial magnetization curve of the material. These initial magnetization curves are then used in the Ansys Electromagnetics Suite software to define the nonlinear anisotropic core of an alternating current inductor. Subsequently, a two-dimensional finite element analysis is performed. The analysis improves the design and computation of inductors extensively utilized in electrical engineering. This study contributes to understanding and optimizing inductors, promoting significant advancements in electrical engineering.

KEYWORDS: Finite element method.

BUSCA DE PARÂMETROS DE UM MODELO DE HISTERESE VETORIAL UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

RESUMO: O Grupo de Concepção e Análise de Dispositivos Eletromagnéticos (GRUCAD) recebeu amostras de aço silício de grão não orientado. Foram realizadas duas medições das curvas de campo magnético versus Indução magnética. Este trabalho apresenta um método inovador para extrair os dez parâmetros bidimensionais de histerese magnética do modelo vetorial de Jiles- Atherton, visando modelar as curvas experimentais. O procedimento é baseado no método de algoritmos genéticos e garante uma forte concordância entre as curvas calculadas de histerese e as curvas experimentais. Isso proporciona uma validação confiável para os dez parâmetros calculados. Além disso, o artigo demonstra uma aplicação prática desses parâmetros. Com os dez parâmetros, é possível obter duas curvas anhistéricas. Os dados ascendentes no primeiro quadrante representam a curva de magnetização inicial do material. Essas curvas de magnetização inicial são então utilizadas no software Ansys Electromagnetics Suite para definir o núcleo não linear anisotrópico de um indutor de corrente alternada. Subsequentemente, uma análise de elementos finitos bidimensional é realizada. Essa análise aprimora o projeto e o cálculo de indutores amplamente utilizados na engenharia elétrica. Este trabalho contribui para o entendimento e a otimização de indutores, promovendo avanços significativos na engenharia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Método de elementos finitos. Método de algoritmos genéticos. Anisotropia magnética. Histerese magnética.

1 | INTRODUCTION

Over time, several studies have been done [1] - [25] to improve the design of electromagnetic devices. These studies focus on mathematically modeling the ferromagnetic hysteresis phenomenon. The efforts include obtaining model parameters using genetic algorithms, analyzing complicated structures using the finite element method, and predicting the behavior of materials in electrical machines, all before the prototype construction.

The hysteresis model developed by David Jiles and David Atherton [1] is an important tool for analyzing the magnetic behavior of ferromagnetic materials, especially in magnetization and demagnetization cycles. This model can represent the nonlinear magnetic response of such materials in electromagnetic systems. The model is based on the theory of magnetic hysteresis, which studies how ferromagnetic materials resist changes in their magnetic field strength through nonlinear differential equations. These equations describe the relationship between the applied magnetic field strength, the resulting magnetic flux density, and other parameters. The Jiles-Atherton model is valuable in computational simulations of complicated magnetic systems, such as transformers, inductors, contactors, motors, and electrical generators. It accurately captures nonlinear behavior and magnetic hysteresis, enabling refined performance analysis of systems under different operational

conditions. The model was first published in 1986, based on thermodynamic energy principles and considering magnetic interactions. In the 1990s, extensions were made to cover different types of materials, and in the early 2000s, adaptations were made to handle high frequencies. Internationally adopted, the model simulates hysteresis curves, providing accurate predictions of magnetic behavior in applications within electrical engineering, electronics, and materials science. Research continues to improve the model's accuracy, including thermal considerations. In summary, the Jiles-Atherton hysteresis model is an indispensable tool for understanding and simulating the magnetic behavior of ferromagnetic materials, which is important for the efficient design of electromagnetic devices in electrical and electronic engineering.

The theory of genetic algorithms originated in the 1940s and experienced significant advances in the 1950s, based on the principles of evolutionary theory. In 1962, the first models were conceived, marking the beginning of this innovative approach. The method became popular in 1975 and solidified with applications in various fields during the 1980s. In 1989, we witnessed the emergence of the first commercial software dedicated to genetic algorithms. In the 1990s, these algorithms were incorporated into college courses and motivated the development of open-source libraries. The turn of the millennium marked the formalization of conferences focused on genetic algorithms.

Genetic algorithms [5] [6], as a computational method, draw inspiration from natural selection. This approach finds application in solving complicated optimization and search problems in various fields, including engineering, computer science, finance, and computational biology. This methodology is based on natural selection, crossover, mutation, and heredity. Solution candidates are represented by data structures called chromosomes. Each chromosome has genes representing the solution's variables, and the process starts with creating an initial population of randomly generated chromosomes. During the step of evaluating fitness, each chromosome is checked to see if it can solve the problem. A fitness function evaluates how well a solution represents the desired result by assigning a value. Natural selection favors the most competent chromosomes for reproduction. Crossover, in which selected pairs are combined, occurs at specific points on the chromosomes, promoting the mixing of genetic information. Mutation, with the introduction of random genetic alterations, contributes to genetic diversity in the population. Chromosomes in the new generation are formed from the offspring created through crossover and mutation. This new population is once again subjected to a fitness evaluation. The algorithm is iterated over several generations until a stopping criterion is met, which may be a maximum number of generations, convergence to an acceptable solution, or other criteria.

The finite element method was first used in the 1940s to analyze aircraft structures. Over the years, its application expanded: in the 1950s, this method was adopted in civil and mechanical engineering. The term finite elements and its applications in engineering began in the 1960s. In the 1970s, commercial software for the finite element method became

widely adopted due to technological advancements. In the 1990s, this method evolved to address nonlinear and multiphysics problems, expanding its analytical capabilities. In 2010, the finite element method was used in optimization problems. The 2020s witnessed the application of the technique in innovative domains such as machine learning. In biomedical engineering, the finite element method is important for analyzing prosthetics. It is commonly used to evaluate wind turbines and solar panels, helping to advance renewable energy. The trajectory of the finite element method illustrates its continuous evolution, from its origins in aviation to its current applications in various fields, establishing itself as an essential tool in modern engineering.

The finite element method [10]-[20] is a widely used numerical technique for analyzing the behavior of complicated devices and solving engineering problems. When using finite elements to model a device, start by identifying the physical problem that can be mathematically modeled. The geometry of the device is divided into small regions called finite elements. Physical and material properties are assigned to the elements to represent the actual behavior of the device under analysis. Mathematical equations that describe the behavior of each element are formulated. The local equations of each element are combined to form a global system of equations that describes the behavior of the entire device. These equations consider the boundary conditions of the problem. The resulting system of equations is solved to obtain a numerical solution that represents the unknown variables. This solution is analyzed by visualizing graphs and interpreting data to make engineering decisions. The finite element method is versatile and is applied in various fields, including electromagnetism. It allows for the efficient and accurate simulation of the behavior of complicated devices, making it a valuable tool in the analysis and optimization of device designs.

2 | GENETIC ALGORITHMS

A method based on genetic algorithms was adopted for the identification of the 10 parameters of the two-dimensional hysteresis model of Jiles-Atherton, with 5 longitudinal x and 5 transverse y parameters: $5P_x = [m_{sx} \alpha_x a_x k_x c_x]$ and $5P_y = [m_{sy} \alpha_y a_y k_y c_y]$. The main steps of the method are as follows: create the initial generation, evaluate it, form the subsequent generation, and analyze it again.

For the first-generation

- 1) Define the range of variation for each parameter: $\min \leq m_{sx} \leq \max$, $\min \leq \alpha_x \leq \max$, ..., $\min \leq c_x \leq \max$, $\min \leq m_{sy} \leq \max$, $\min \leq \alpha_y \leq \max$, ..., $\min \leq c_y \leq \max$.
- 2) Generate 100 random values within the established range for each parameter: $[m_{sx}(1) \alpha_x(1) a_x(1) k_x(1) c_x(1)]$, ..., $[m_{sx}(100) \alpha_x(100) a_x(100) k_x(100) c_x(100)]$ and $[m_{sy}(1) \alpha_y(1) a_y(1) k_y(1) c_y(1)]$, ..., $[m_{sy}(100) \alpha_y(100) a_y(100) k_y(100) c_y(100)]$.
- 3) Record the experimental magnetic flux density values (B_x and B_y) along the curves

$H_x B_x$ and $H_y B_y$

4) Calculate the magnetic field strength H_x using the inverse Jiles-Atherton model proposed by GRUCAD for the first individual of the populationx [$m_{sx}(1)$ $a_x(1)$ $a_x(1)$ $k_x(1)$ $c_x(1)$]. Similarly, calculate the magnetic field strength H_y for the first individual of the populationy [$m_{sy}(1)$ $a_y(1)$ $a_y(1)$ $k_y(1)$ $c_y(1)$].

5) Compare the calculated magnetic field strength with the experimental magnetic field strength along the HB curve, allowing for the determination of the sum of the relative error.

6) Repeat steps 4 and 5 for the other individuals in the population.

7) Record the data obtained.

8) Organize data in ascending order of error and evaluate the initial populationx, assigning a maximum fitness of 2 to the individual with the smallest error and a minimum fitness of 0 to the individual with the largest error.

9) Repeat step 8 organizing and evaluating the initial populationy.

10) Record the fitness values.

For the next generation

1. Randomly select two individuals from the initial populationx, with the fittest designated as $father_{1x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$. Establish $father_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$ through a similar process.

2. Repeat step 1 for the populationy, identifying $father_{1y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$ and $father_{2y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$.

3. Apply the BLX-alpha crossover operation between $father_{1x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$ and $father_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$ to generate a longitudinal child $ch_{1x} = [m_{sx} a_x a_x k_x c_x]$.

4. Repeat step 3 using $father_{1y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$ and $father_{2y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$ to generate a transverse child $ch_{1y} = [m_{sy} a_y a_y k_y c_y]$.

5. Randomly select between $father_{1x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$ or $father_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$ to undergo mutation: $father_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$.

6. Randomly select a parameter from the chosen father to undergo mutation: $father_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} a_{x(1)} k_{x(1)} c_{x(1)}]$.

7. Randomly select between the maximum or minimum value of the parameter and replace that parameter to generate the second longitudinal child with mutation: $ch_{2x} = [m_{sx(1)} a_{x(1)} \max k_{x(1)} c_{x(1)}]$.

8. Randomly select between $father_{1y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$ or $father_{2y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$ to undergo mutation: $father_{1y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$.

9. Randomly select a parameter from the chosen father to undergo mutation: $father_{1y} = [m_{sy(d)} a_{y(d)} a_{y(d)} k_{y(d)} c_{y(d)}]$.

10. Randomly select between the maximum or minimum value of the parameter and replace that parameter to generate the second transverse child with mutation: $ch_{2y} = [\min a_{y(d)} \ a_{y(d)} \ k_{y(d)} \ c_{y(d)}]$.

11. The two generated children, $ch_{1x} = [m_{sx} \ a_x \ a_x \ k_x \ c_x]$ and $ch_{2x} = [m_{sx(t)} \ a_{x(t)} \ \max k_{x(t)} \ c_x]$, replace the two least-fit individuals of the initial population x.

12. The two generated children, $ch_{1y} = [m_{sy} \ a_y \ a_y \ k_y \ c_y]$ and $ch_{2y} = [\min a_{y(d)} \ a_{y(d)} \ k_{y(d)} \ c_{y(d)}]$, replace the two least-fit individuals of the initial population y.

13. For the most recent sample of individuals from Table 1 and Table 2, resume the procedure from step 3 of the first generation section.

Individual	Parameters: $5P_X$					Error	Fitness
1	$m_{sx(1)}$	$a_{x(1)}$	$a_{x(1)}$	$k_{x(1)}$	$c_{x(1)}$	$error_{x(1)}$	2
2	$m_{sx(2)}$	$a_{x(2)}$	$a_{x(2)}$	$k_{x(2)}$	$c_{x(2)}$	$error_{x(2)}$	1.98
.
.
.
i	$m_{sx(i)}$	$a_{x(i)}$	$a_{x(i)}$	$k_{x(i)}$	$c_{x(i)}$	$error_{x(i)}$	$2(100- i)/99$
.
t	$m_{sx(t)}$	$a_{x(t)}$	$a_{x(t)}$	$k_{x(t)}$	$c_{x(t)}$	$error_{x(t)}$	$2(100- t)/99$
.
.
.
99	m_{sx}	a_x	a_x	k_x	c_x		
100	$m_{sx(t)}$	$a_{x(t)}$	\max	$k_{x(t)}$	$c_{x(t)}$		

TABLE 1. Subsequent Longitudinal Population

Individual	Parameters: $5P_Y$					Error	Fitness
1	$m_{sy(1)}$	$a_{y(1)}$	$a_{y(1)}$	$k_{y(1)}$	$c_{y(1)}$	$error_{y(1)}$	2
2	$m_{sy(2)}$	$a_{y(2)}$	$a_{y(2)}$	$k_{y(2)}$	$c_{y(2)}$	$error_{y(2)}$	1.98
.
.
.
d	$m_{sy(d)}$	$a_{y(d)}$	$a_{y(d)}$	$k_{y(d)}$	$c_{y(d)}$	$error_{y(d)}$	$2(100-d)/99$
.
l	$m_{sy(l)}$	$a_{y(l)}$	$a_{y(l)}$	$k_{y(l)}$	$c_{y(l)}$	$error_{y(l)}$	$2(100- l)/99$
.
.
.
99	m_{sy}	a_y	a_y	k_y	c_y		
100	min	$a_{y(d)}$	$a_{y(d)}$	$k_{y(d)}$	$c_{y(d)}$		

TABLE 2. Subsequent Transverse Population

3 | ACQUIRED PARAMETERS

A Rotational Single Sheet Tester, RSST, was used for the experimental data obtaining. The HB curves on the lamination and transversal directions were obtained for an anisotropic silicon steel sample. The experimental device was built with a magnetic yoke, frequency inverters, feedback controllers, magnetic flux density and magnetic field strength sensors, signal amplifiers, signal filters, and boards for generating signals and data acquisition. The yoke of the RSST was made of the overlapping of silicon steel sheets. The excitation coils along the x and y directions are fed by two independent frequency inverters with pulse width modulation, PWM. Each PWM voltage inverter was driven by an independent closed control loop that imposed the desired magnetic flux density waveform in the sample.

In the GRUCAD laboratory, magnetic field strength values and magnetic flux density measurements were carried out to obtain $H_x B_x$ and $H_y B_y$ curves for five samples of non-oriented grain silicon steel. The genetic algorithm method was employed to calculate the 10 parameters of the Jiles-Atherton vector hysteresis model for these samples. Table 3 presents the 10 calculated parameters for each silicon steel sample, while in Fig. 1 to 5, the agreement between the calculated and experimental HB curves for both longitudinal and transverse cases can be observed.

Parameters	Cases				
	1	2	3	4	5
m_{sx}	1.88e+6	1.85e+6	2.28e+6	2.68e+6	1.51e+6
a_x	1.35e-4	1.12e-4	9.70e-5	1.80e-4	1.66e-4
a_x	9.15e+1	9.59e+1	1.74e+2	1.73e+2	9.76e+1
k_x	4.53e+1	5.54e+1	7.30e+1	4.36e+1	6.80e+1
c_x	4.74e-1	1.52e-1	1.70e-1	4.76e-1	1.99e-1
m_{sy}	3.02e+6	2.87e+6	2.11e+6	2.09e+6	1.94e+6
a_y	1.43e-4	1.03e-4	1.36e-5	1.85e-4	2.04e-4
a_y	2.07e+2	1.18e+2	3.37e+1	1.61e+2	2.94e+2
k_y	5.24e+1	2.72e+1	9.43e+1	5.14e+1	6.21e+1
c_y	9.12e-2	2.47e-1	3.71e-1	1.60e-1	1.57e-1

TABLE 3. Acquired Parameters

In Fig. 1 to 5, the ten calculated parameters accurately describe the material's experimental behavior, showing a clear agreement between the simulated and measured HB curves. This indicates that the computed parameters perform well in predicting the magnetic behavior of the silicon steel sample, making them useful for application in the construction of electromagnetic devices.

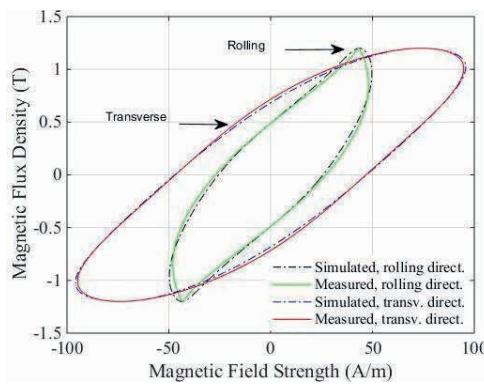


FIGURE 1. Magnetic flux density as a function of applied magnetic field strength. Case 1.

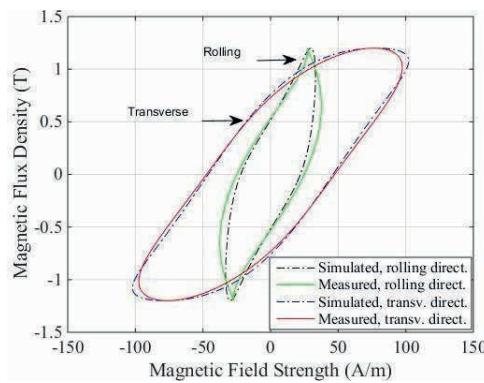


FIGURE 2. Magnetic flux density as a function of applied magnetic field strength. Case 2.

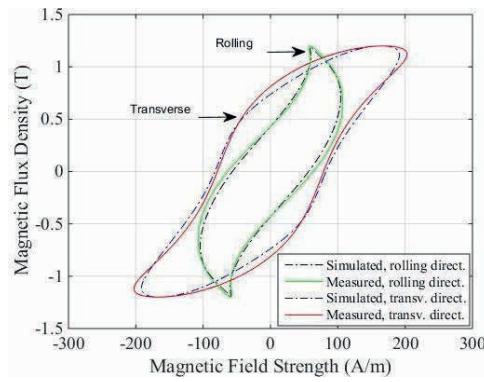


FIGURE 3. Magnetic flux density as a function of applied magnetic field strength. Case 3.

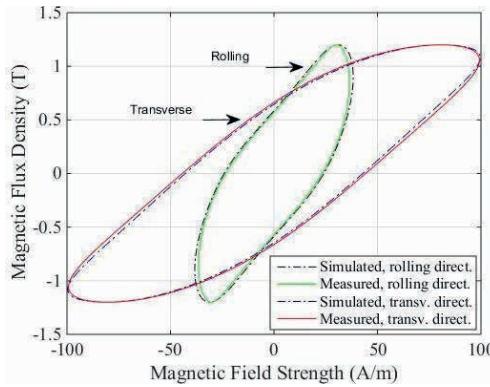


FIGURE 4. Magnetic flux density as a function of applied magnetic field strength. Case 4.

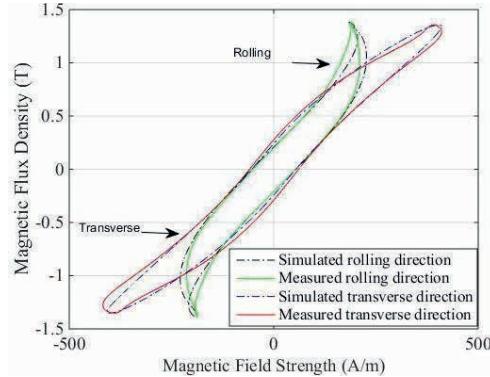


FIGURE 5. Magnetic flux density as a function of applied magnetic field strength. Case 5.

4 | APPLICATION OF PARAMETERS FOR AN INDUCTOR WITH AN ANISOTROPIC CORE

The parameters derived in the fourth case were used in modeling the anisotropic curve according to procedure (1) developed by GRUCAD, maintaining the general nature of the process.

$$\begin{aligned}
 B_x(i+1) &= B_m \sin(2\pi f t(i)) \\
 \frac{dM_{an}}{dH_e} &= \frac{M_{sx}}{a_x} \left[1 - \left(\coth \left(\frac{H_e(i)}{a_x} \right) \right)^2 + \left(\frac{a_x}{H_e(i)} \right)^2 \right] \\
 H_x(i+1) &= \Delta M \left[\frac{1}{\frac{dM_{an}}{dH_e}} - \alpha_x \right] + H_x(i) \\
 M(i+1) &= \frac{B_x(i+1)}{\mu_0} - H_x(i+1) \\
 H_e(i+1) &= H_x(i+1) + \alpha_x M(i+1) \\
 \Delta M &= M(i+1) - M(i)
 \end{aligned} \tag{1}$$

In which: i is the current iteration, B_m is the magnetic flux density in T, f is the frequency in Hz, t is the time in s, M_{an} is the anisotropic magnetization, H_e is the effective magnetic field, M the magnetization and μ_0 is the magnetic permeability of the vacuum.

When following procedure (1), only the ascending points (H_x, B_x) in the first quadrant of the longitudinal anhysteretic curve are important for the initial magnetization curve. Likewise, procedure (1) defines the ascending points (H_y, B_y) in the first quadrant of the transverse anhysteretic curve.

The two-dimensional Cartesian transient magnetic analysis of the inductor was conducted using the software Ansys® Electromagnetics Suite, Release 2022 R2 acquired by UTFPR, following the essential steps:

1. Draw the Inductor: draw the two-dimensional sketch of the inductor, consisting of the coil, E-I core, and the simulation region. The E lamination measures 10.49 cm in length, 6.99 cm in height, and has a central column that is 3.49 cm long. The I lamination has a height of 1.75 cm.
2. Define the Materials of the Inductor: copper was chosen for the coil, and non-oriented grain silicon steel was incorporated into the library and specified for the core. The relevant parameters for this material are presented in Table 3, case 4, showing anisotropic relative magnetic permeability. This nonlinear anisotropy is characterized by first-quadrant ascending anhysteretic HB curves, $H_x B_x$ and $H_y B_y$, as outlined in (1). The vacuum was selected for the simulation region.
3. Assign excitation: a voltage of $127\sin(2\pi 60t)$ Volts was assigned to the coil with 314 turns.
4. Consider eddy effects, boundary, and depth: the evaluation of eddy effects is not conducted due to multiple wires in the coil. The boundary condition for the four edges of the simulation region was vector potential $A = 0$ Wb/m. The depth of the inductor was 34.93 mm.
5. Configure the mesh: define the maximum number of mesh elements for the coil, core, and simulation region of the inductor.
6. Run simulation: establish the analysis setup and initiate the simulation. The transient magnetic simulation of the inductor was briefly conducted, indicating a well-conditioned problem. In Fig. 6, the magnetic flux density reaches 0.10 T in the simulation region and coils. At the eight corners of the core windows, the magnetic flux density is approximately 0.99 T. In the core, magnetic flux density values predominantly range between 0.49 and 0.59 T. Another significant result, presented in Fig. 7, illustrates the nonsinusoidal behavior of the flux linkage, current, and induced voltage over time. The maximum induced voltage reaches 125.93 V, the maximum current is approximately 0.07 A, and the maximum flux linkage is 0.67 Wb. The expected average inductance for the inductor is 0.38 H.

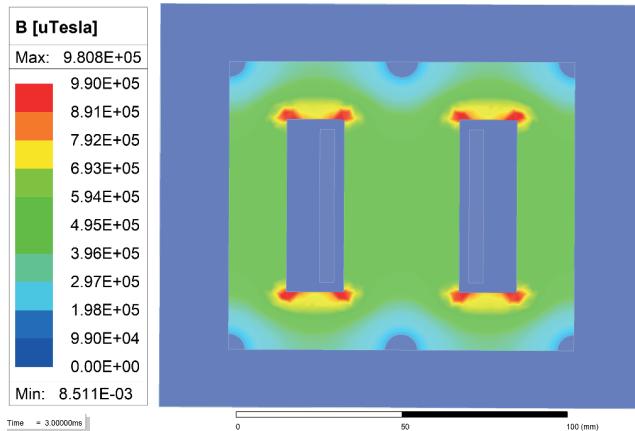


FIGURE 6. Density plot of magnetic flux density in the inductor: non-linear anisotropic core. The values of magnetic flux density are in microtesla.

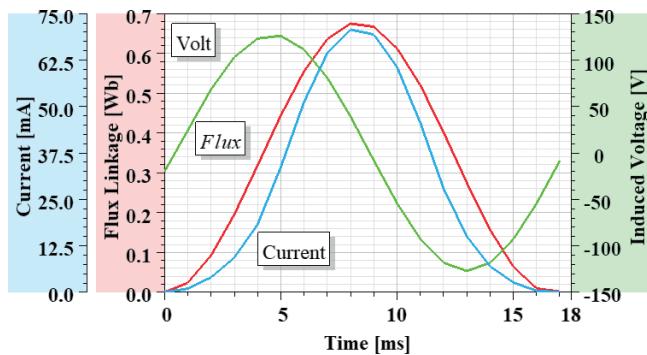


FIGURE 7. Flux linkage, current, and induced voltage in the inductor: non-linear anisotropic core.

5 | APPLICATION OF LONGITUDINAL PARAMETERS FOR AN INDUCTOR WITH A NON-LINEAR CORE

In this analysis, the procedures outlined in section 4 were rigorously followed. The only distinction is that, for the core, a nonlinear relative magnetic permeability was defined, represented by an anisotropic HB curve, located in the first quadrant with an ascending path $H_x B_x$.

Fig. 8, shows that the magnetic flux density reaches 0.09 T in the simulation region and the coils, while at the eight corners of the core windows, the magnetic flux density reaches 0.87 T. The core's magnetic flux density predominantly ranges between 0.61 and 0.70 T. Another important result is the non-sinusoidal behavior of the flux linkage, current, and induced voltage over time. The induced voltage reaches its maximum value of 125.97 V, the maximum current is 0.03 A, and the flux linkage peaks at 0.67 Wb. The predicted inductance for the inductor is 0.40 H.

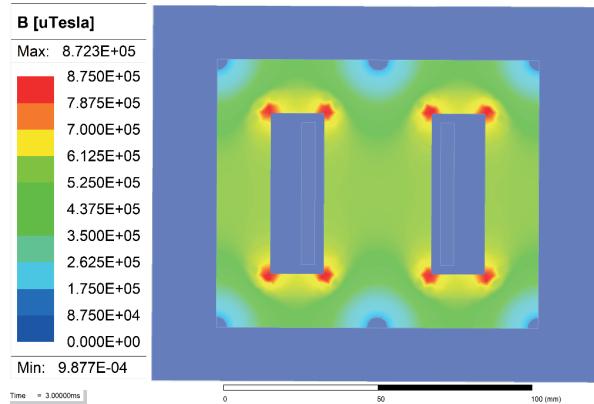


FIGURE 8. Density plot of magnetic flux density in the inductor: non-linear core with longitudinal parameters. The values of magnetic flux density are in microtesla.

6 | APPLICATION OF TRANSVERSAL PARAMETERS FOR AN INDUCTOR WITH A NON-LINEAR CORE

In this analysis, the procedures outlined in Section 4 were followed. The only variation occurred in the core, where a non-linear relative magnetic permeability was established, represented by an anisotropic HB curve in the ascending first quadrant $H_y B_y$.

Fig. 9 shows that the magnetic flux density is 0.00 T in the simulation region and coils, while in the eight corners of the core windows, the magnetic flux density reaches 0.91 T. In the core, the predominant magnetic flux density values range between 0.55 and 0.64 T. Another relevant result highlights the non-sinusoidal behavior of the flux linkage, current, and induced voltage over time. The maximum value of induced voltage is 125.91 V, the maximum current is 0.09 A, and the flux linkage peaks at 0.67 Wb. The estimated inductance for the inductor is 0.38 H.

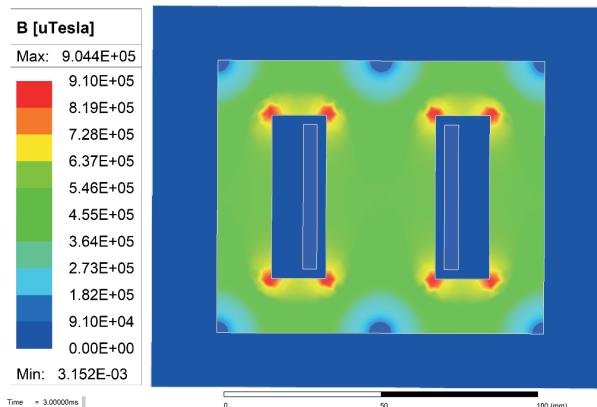


FIGURE 9. Density plot of magnetic flux density in the inductor: non-linear core with transverse parameters. The values of magnetic flux density are in microtesla.

The Jiles-Atherton model was used in this chapter because of its simplicity and widespread acceptance in the scientific community. However, its primary limitation is that it is better suited for *BH* curves that have a sigmoidal shape. For further information on the finite element method, it is advisable to refer to [20] and [25].

In the inductor simulations conducted using ANSYS software, an excitation voltage of 127 V was applied. In all instances, the voltages induced in the inductor were approximately 99.2% of this value. It is important to note that the under-voltage relay monitors the minimum permissible voltage and is configured to operate at 80% of the nominal voltage. The induced voltages remained above this 80% threshold.

7 | CONCLUSION

This chapter presented an improved methodology for identifying the ten parameters of the Jiles-Atherton hysteresis vector model. The genetic algorithms proved to be a fast and efficient approach, providing parameters that accurately describe the measured *HB* curves in both the longitudinal and transverse directions. An extensive comparison of the electrical and magnetic quantities of an alternating current inductor was also developed. The inductor was simulated with a non-linear anisotropic core and a non-linear isotropic core. In the case of the non-linear isotropic core, we considered the longitudinal and transverse directions separately. The obtained results show a significant change in the electric current value. In the anisotropic case, the current reaches a maximum of 0.07 A. In the longitudinal isotropic case, this value is 57.14% lower, and in the transverse isotropic case, it is 28.57% higher. The non-linear anisotropic analysis allowed for a more realistic simulation of the material's behavior and enabled the simultaneous analysis of different directions. This approach provides a more comprehensive and accurate understanding of the characteristics of the alternating current inductor. It's important to consider anisotropy for accurate modeling. Future works will address the saturation phenomenon, magnetic losses, and comparison with other methodologies.

DEDICATION

This work is dedicated to Maria de Fátima dos Ramos Rodrigues Mendes Barbosa.

ACKNOWLEDGMENT

We thank Ketty Keisy Barbosa Sobrado Suarez for her significant collaboration in accurately refining our figures.

I want to thank the Lord of Life, my family, friends, and colleagues, for their support, encouragement, and kindness throughout my journey.

REFERENCES

- [1] D. C. Jiles e D. L. Atherton, "Theory of Ferromagnetic Hysteresis," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 61, pp. 48-60, 1986.
- [2] D. C. Jiles, J. B. Thoelke e M. K. Devine, "Numerical Determination of Hysteresis Parameters the Modeling of Magnetic Properties Using the Theory of Ferromagnetic Hysteresis," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 28, pp. 27-35, Jan 1992.
- [3] J. V. Leite, N. Sadowski, P. Kuo-Peng, N. J. Batistela e J. P. A. Bastos, "The Inverse Jiles–Atherton Model Parameters Identification," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 39, pp. 1397-1400, May 2003.
- [4] P. Kis e A. Iványi, "Parameter Identification of Jiles–Atherton Model with Nonlinear Least-square Method," *Physica B*, pp. 59-64, 2004.
- [5] J. V. Leite, S. L. Avila, N. J. Batistela, W. P. Carpes Jr., N. Sadowski e J. P. A. Bastos, "Real Coded Genetic Algorithm for Jiles–Atherton Model Parameters Identification," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 40, pp. 888- 891, Mar 2004.
- [6] K. Chwastek e J. Szczygowski, "Identification of a Hysteresis Model Parameters with Genetic Algorithms," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 71, pp. 206-211, 2006.
- [7] M. Toman, G. Stumberger e D. Dolinar, "Parameter Identification of the Jiles–Atherton Hysteresis Model Using Differential Evolution," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, pp. 1098-1101, Jun. 2008.
- [8] R. Marion, R. Scorretti, N. Siauve, M. Raulet e L. Krähenbühl, "Identification of Jiles–Atherton Model Parameters Using Particle Swarm Optimization," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, pp. 894-897, Jun. 2008.
- [9] K. Chwastek e J. Szczygowski, "An Alternative Method to Estimate the Parameters of Jiles–Atherton Model," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 314, pp. 47-51, 2007.
- [10] N. Sadowski, N. J. Batistela, J. P. A. Bastos e M. Lajoie-Mazenc, "An Inverse Jiles-Atherton Model to Take Into Account Hysteresis in Time Stepping Finite Element Calculations," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, pp. 797-800, Mar. 2002.
- [11] K. Hoffmann, J. P. A. Bastos, J. V. Leite, N. Sadowski e F. B. R. Mendes, "A Vector Jiles-Atherton Model for Improving the FEM Convergence," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, June 2017.
- [12] A. Hrennikoff, "Solution of Problems of Elasticity by the Framework Method," *J. Appl. Mech.*, pp. A169-A175, Dec. 1941.
- [13] R. Courant, "Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibration," *Bull. Amer. Math. Soc.*, pp. 1-23, 1943.
- [14] M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin e L. J. Topp, "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures," *Journal of the Aeronautical Sciences*, vol. 23, September 1956.
- [15] O. C. Zienkiewicz e Y. K. Cheung, "Finite Element Solution of Field Problems," *The Engineer*, pp. 507-510, September 1965.

- [16] R. W. Clough, "Original Formulation of the Finite Element Method, Finite Elements in Analysis and Design," *Elsevier*, vol. 7, pp. 89-101, 1990.
- [17] H. Ochiai, K. Shigematsu, J. Imaoka e M. Yamamoto, "Finite Element Method Based Thermal Magnetic Core Characteristics Modeling and Thermal Simulation," *Proceedings of ISIE*, pp. 320-324, 2022.
- [18] K. Fonteyn, A. Belahcen, R. Kouhia, P. Rasilo e A. Arkkio, "FEM for Directly Coupled Magneto-mechanical Phenomena in Electrical Machines," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 46, pp. 2923-2926, 2010.
- [19] B. Parreira, S. Rafael, A. Pires e P. C. Branco, "Obtaining the Magnetic Characteristics of an 8/6 Switched Reluctance Machine: from FEM Analysis to the Experimental Tests," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, pp. 1635-1643, 2005.
- [20] J. P. A. Bastos e N. Sadowski, **Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods**, Marcel Dekker, 2003.
- [21] Z. Chen, Y. Yu e Y. Wang, "Parameter Identification of Jiles- Atherton Model Based on Levy Whale Optimization Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 66711-66721, 2022.
- [22] M. Zou, "Parameter Estimation of Extended Jiles-Atherton Hysteresis Model Based on ISFLA," *IET Electric Power Applications*, vol. 14, pp. 212-219, 2020.
- [23] K. Li, Z. Zhang, P. Wang, Y. Liu e J. Zeng, "A Novel 3D Simulation Prediction Model of Mechanical Properties of Ferromagnetic Materials via Incremental Permeability Method," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 536, 2021.
- [24] B. B. Miranda, J. A. Malagoli e J. R. Camacho, "Optimization Techniques and Mathematical Modeling Applied to Reluctance Motors," *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 21, pp. 368-391, 2022.
- [25] Ansys® Electromagnetics Suite, Release 2022 R2, Help System, **Getting Started with Maxwell: Transient Problem**, Ansys, Inc.

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE - Engenheira Civil pela Universidade Paranaense, especialista em Gestão de Projetos e Obras de Edificações, mestre em Engenharia Urbana e doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina. Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção Civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando diversas disciplinas, sendo: Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I e II, Laboratório de Hidráulica I e II, Materiais de Construção, Fundamentos da Engenharia Ambiental, entre outras. Participa efetivamente em projeto de pesquisa, orientações de TFC bem como em orientações de estágio supervisionado e obrigatório.

A

- Anéis hexagonais 22, 23, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34
Anisotropia magnética 130
Aprendizado de máquinas 66
Aprendizagem 1, 10, 11
Arquiteturas e topologias de redes neurais 65

B

- Biofilia 101, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 111, 112
Blocos maciços 22, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33

C

- Capacitação 4
Chrysanthemum paludosum 114, 115, 116, 117, 118
Construção civil 101, 102, 103, 104, 105, 108, 110, 111, 112, 144
Contenção marítima 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34

D

- Desenvolvimento econômico 2, 52, 53, 54, 58, 78, 79, 83, 97, 98

E

- Educação 1, 2, 3, 11, 52, 53, 63, 107
Empreendimentos portuários 77, 78, 81, 98
Erosão costeira 22, 23, 24, 25, 29, 33, 34
eSports 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62
Estratégias de irrigação 115, 118

F

- Flores ornamentais 115

G

- Gestão ambiental 77, 79, 94, 95, 97, 98, 99

H

- Histerese magnética 130

I

- Integração 75, 77, 78, 79, 82, 86, 87, 89, 91, 92, 95, 97, 98, 109

L

Licenciamento ambiental 77, 78, 81, 84, 86, 97, 99, 100

M

Maricá Games 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 61

Matemática 1, 2, 3, 4, 8, 10, 129

Método de algoritmos genéticos 130

Método de elementos finitos 130

P

Pandemia 1, 3, 10, 37, 112

Periódico 122, 123, 124, 126, 127

Princípio de invariância 122, 123, 124, 126, 127, 128

R

Redes neurais artificiais 65, 68

Reforço pedagógico 1, 10

Reuso de água 115

S

Sistema dinâmico 122, 123, 124, 126

Sobreposição de dados 77

Sustentabilidade 23, 24, 97, 98, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110

T

Trabalho decente 52, 53

Turismo sustentável 106

U

Uniforme 89, 122, 123, 124, 126, 127

Ciência, tecnologia e
inovação na perspectiva das
engenharias 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- ⌚ [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ciência, tecnologia e
inovação na perspectiva das
engenharias 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- ⌚ [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br