

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS PARA O
DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

VOLUME II



ORGANIZADOR
Higor Costa de Brito

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS PARA O
DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

VOLUME II



ORGANIZADOR
Higor Costa de Brito



2024 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Ciência, tecnologia e inovação: tendências e desafios para o desenvolvimento científico e tecnológico – Volume II está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

ISBN: 978-65-5381-234-5

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-0

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br

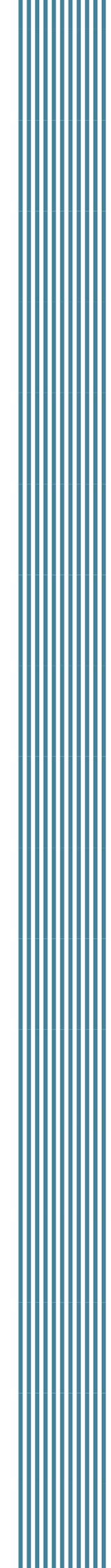


2024

CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrasio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Marina Magalhães de Morais – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autônoma do Estado do México
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carlotto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande



2024 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

C569

Ciência, tecnologia e inovação: tendências e desafios para o desenvolvimento científico e tecnológico / Organização de Higor Costa de Brito. – Campina Grande/PB: Ampla, 2024.

(Ciência, tecnologia e inovação, V. 2)

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-234-5

DOI 10.51859/ampla.cti4345-0

1. Inovação tecnológica. I. Brito, Higor Costa de (Organizador). II. Título.

CDD 608

Índice para catálogo sistemático

I. Inovação tecnológica

Ampla Editora
Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br



2024

PREFÁCIO

O avanço científico e tecnológico é um dos principais motores do desenvolvimento contemporâneo, impulsionando inovações que transformam tanto as indústrias quanto as vidas cotidianas. O livro **“Ciência, Tecnologia e Inovação: Tendências e Desafios para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico”** reúne uma coletânea diversificada de capítulos que refletem os mais recentes avanços e desafios nas áreas de ciência, tecnologia, inovação e gestão.

Organizado em temas que abrangem desde as neurotecnologias emergentes e a inteligência artificial até a sustentabilidade ambiental e a gestão de recursos hídricos, esta obra destaca a importância das abordagens interdisciplinares e das soluções inovadoras para os problemas do mundo atual. As contribuições apresentadas discutem também a relevância das estratégias de gestão e inovação organizacional, além de examinar os impactos sociais e ambientais das tecnologias emergentes.

Ao explorar tópicos como nanotecnologia, energia renovável, neurociência, resistência antimicrobiana, imunologia, modelagem hidrológica, entre outros, esta coletânea busca oferecer uma visão abrangente e atualizada das tendências e desafios que moldam o cenário científico e tecnológico.

Espera-se que este livro sirva como uma referência para estudantes, pesquisadores, profissionais e todos aqueles que buscam compreender as nuances das inovações que impulsionam o progresso científico e enfrentam os desafios éticos, sociais e ambientais do nosso tempo. Mais do que apenas um compêndio de conhecimentos técnicos, esta obra é uma chamada para a reflexão e para a promoção de um desenvolvimento sustentável e equitativo.

Que estas páginas inspirem novas ideias, diálogos e colaborações que possam contribuir para o avanço do conhecimento e para a construção de um futuro mais inovador e inclusivo.

Higor Brito

*Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental
Especialista em Geoprocessamento
Engenheiro Civil*

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO I - NEUROTECNOLOGIA: AVANÇOS CIENTÍFICOS E DESAFIOS ÉTICOS NA INTERFACE ENTRE O CÉREBRO E A TECNOLOGIA..... | 10 |
| CAPÍTULO II - O PAPEL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO SELETIVO EMPRESARIAL..... | 21 |
| CAPÍTULO III - AS PERSPECTIVAS DO BLOCKCHAIN NO IMPACTO DA TECNOLOGIA NA GESTÃO DOS NEGÓCIOS: EMPREGO E RENDA | 30 |
| CAPÍTULO IV - INOVAÇÃO E O SETOR PÚBLICO: REFLEXÕES SOBRE A LITERATURA NA ÁREA | 40 |
| CAPÍTULO V - PONDERAÇÕES SOBRE O <i>COWORKING</i> NO SETOR PÚBLICO FEDERAL.. | 61 |
| CAPÍTULO VI - NANOLUBRIFICANTE HÍBRIDO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO E ANÁLISE DA LUBRICIDADE COM TRIBÔMETRO HFRR..... | 79 |
| CAPÍTULO VII - RETROFITTING DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE PISTA DE GELO DIDÁTICA PARA OPERAÇÃO COM FLUIDO SECUNDÁRIO | 91 |
| CAPÍTULO VIII - DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO PORTÁTIL DE CRIOTERAPIA E HIPERTERMOTERAPIA COM O MICROCONTROLADOR PIC16F874A PARA CONTROLE PID DE TEMPERATURA | 107 |
| CAPÍTULO IX - EXPLORANDO O POTENCIAL DAS CASCAS DE EUCALIPTO: UM NOVO HORIZONTE PARA CORANTES NATURAIS NO TINGIMENTO TÊXTIL | 123 |
| CAPÍTULO X - FUNCIONALIZAÇÃO DE MATERIAIS TÊXTEIS A PARTIR DE PRODUTOS NATURAIS | 137 |
| CAPÍTULO XI - EMBALAGENS ALIMENTARES ATIVAS E SUSTENTÁVEIS A BASE DE PECTINA..... | 161 |
| CAPÍTULO XII - O FUTURO DAS ANÁLISES CLÍNICAS: PERSPECTIVAS E DESAFIOS..... | 175 |
| CAPÍTULO XIII - ESTRATÉGIAS EMERGENTES NO COMBATE À RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 185 |
| CAPÍTULO XIV - A IMUNIDADE INATA VERSUS IMUNIDADE ADAPTATIVA: INTERAÇÕES E IMPACTO NA RESPOSTA IMUNOLÓGICA..... | 198 |
| CAPÍTULO XV - MECANISMOS DE INVASÃO E EVASÃO DO SISTEMA IMUNOLÓGICO PELO <i>TOXOPLASMA GONDII</i> E TERAPIAS INIBIDORAS | 209 |
| CAPÍTULO XVI - FITOTERÁPICOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DA ANSIEDADE E DEPRESSÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA..... | 223 |
| CAPÍTULO XVII - USO DO PLURÔNICO F-127 NO PREPARO DE NANOEMULSÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS E CIENTÍFICAS | 235 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO XVIII - POTENCIAL DO HIDROGENIO VERDE NO PIAUÍ: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 246 |
| CAPÍTULO XIX - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE DOS EFEITOS SOCIOAMBIENTAIS E TENDÊNCIAS FUTURAS | 255 |
| CAPÍTULO XX - ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA CIDADE DE FORTALEZA A PARTIR DO USO DE INDICADORES AMBIENTAIS | 271 |
| CAPÍTULO XXI - EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PONTOS PARA REFLEXÃO..... | 279 |
| CAPÍTULO XXII - MODELAGEM HIDROLÓGICA: CARACTERIZAÇÃO DOS MÉTODOS CURVE NUMBER (CN) E SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT)..... | 287 |
| CAPÍTULO XXIII - VULNERABILIDADE À EROÇÃO E AO ASSOREAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA (SE) | 301 |
| CAPÍTULO XXIV - O USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NA ANÁLISE DA SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL E SEUS IMPACTOS NA EDUCAÇÃO DOS ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL EM ÁREAS URBANAS..... | 315 |
| CAPÍTULO XXV - CURVA ABC E GESTÃO DE ESTOQUE EM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE COMIDA ORIENTAL DE TERESINA-PI | 333 |
| CAPÍTULO XXVI - GESTÃO DE ESTOQUE EM MICROEMPRESAS: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS E OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE MOVIMENTAÇÃO | 343 |
| CAPÍTULO XXVII - DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL: ANÁLISE SWOT E 5W2H PARA DIRECIONAMENTO DE AÇÕES EM UM POSTO DE GASOLINA | 356 |
| CAPÍTULO XXVIII - O PROJETO SIRIUS: PROMOVEDO CIÊNCIA NACIONAL E O GIRO DECOLONIAL | 370 |
| CAPÍTULO XXIX - INSPEÇÃO DE ANOMALIAS EM FACHADAS: ESTUDO DOS EDIFÍCIOS SERGADAS VIANNA E SULAMÉRICA EM RECIFE/PE COM UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA | 382 |
| CAPÍTULO XXX - REPRODUÇÃO ARTIFICIAL EM ESPÉCIES NATIVAS DE PEIXES: NOVAS IMPLICAÇÕES | 394 |
| CAPÍTULO XXXI - ACESSIBILIDADE ENTRE EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO SOBRE A APLICABILIDADE DA NBR 9050 NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, EM ANGICOS/RN | 408 |
| CAPÍTULO XXXII - CARACTERIZAÇÃO DAS ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI | 425 |
| CAPÍTULO XXXIII - CONTROLE ALTERNATIVO DE PARASITO: UMA REVISÃO SOBRE MÉTODOS UTILIZANDO ARMADILHAS..... | 434 |

NEUROTECNOLOGIA: AVANÇOS CIENTÍFICOS E DESAFIOS ÉTICOS NA INTERFACE ENTRE O CÉREBRO E A TECNOLOGIA

NEUROTECHNOLOGY: SCIENTIFIC ADVANCES AND ETHICAL CHALLENGES AT THE INTERFACE BETWEEN THE BRAIN AND TECHNOLOGY

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-1

Ramon Wilker Laurentino de Sousa ¹
Sidney Cezar Rodrigues Rebouças ²
Tatiana Paschoalette Rodrigues Bachur ³

¹ Graduando do curso de Medicina. Universidade Estadual do Ceará - UECE

² Graduando do curso de Medicina. Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró - FACENE

³ Professora Doutora do curso de Medicina. Universidade Estadual do Ceará – UECE

RESUMO

O avanço das neurotecnologias, que inclui desde interfaces cérebro-computador até o uso de inteligência artificial na neurologia, está revolucionando a compreensão e a interação com o cérebro humano. Essas tecnologias oferecem novas possibilidades para o tratamento de doenças neurológicas, a ampliação das capacidades humanas e a melhoria da qualidade de vida. No entanto, seu desenvolvimento e aplicação trazem consigo uma série de desafios éticos, jurídicos e sociais que precisam ser abordados com cuidado. Entre os principais desafios está a necessidade de proteger a privacidade mental e a liberdade cognitiva, assegurando que as informações extraídas do cérebro humano não sejam usadas de maneira abusiva ou manipuladora. Além disso, a criação de neurodireitos emerge como uma questão central para garantir que as neurotecnologias sejam desenvolvidas e aplicadas de forma que respeite a dignidade humana e os direitos fundamentais. Outro ponto de preocupação é a equidade no acesso a essas tecnologias. Existe o risco de que as desigualdades sociais e econômicas sejam exacerbadas se as neurotecnologias forem acessíveis apenas a uma pequena parcela da população. Portanto, é fundamental que políticas públicas sejam implementadas para garantir que todos tenham a oportunidade de se beneficiar dessas inovações.

Palavras-chave: Neurotecnologia. Interfaces cérebro-computador. Inteligência artificial. Direitos humanos.

ABSTRACT

The advancement of neurotechnologies, which includes everything from brain-computer interfaces to the use of artificial intelligence in neurology, is revolutionizing our understanding and interaction with the human brain. These technologies offer new possibilities for the treatment of neurological diseases, the enhancement of human capabilities, and the improvement of quality of life. However, their development and application bring with them a series of ethical, legal, and social challenges that must be carefully addressed. Among the main challenges is the need to protect mental privacy and cognitive freedom, ensuring that information extracted from the human brain is not used abusively or manipulatively. Additionally, the creation of neuro-rights emerges as a central issue to ensure that neurotechnologies are developed and applied in a way that respects human dignity and fundamental rights. Another point of concern is equity in access to these technologies. There is a risk that social and economic inequalities will be exacerbated if neurotechnologies are accessible only to a small portion of the population. Therefore, it is essential that public policies be implemented to ensure that everyone has the opportunity to benefit from these innovations.

Keywords: Neurotechnology. Brain-computer interfaces. Artificial intelligence. Human rights.

1. INTRODUÇÃO

A neurotecnologia é um campo emergente que se encontra na interseção entre a ciência do cérebro e a tecnologia, promovendo inovações que têm o potencial de transformar profundamente a forma como entendemos e interagimos com o cérebro humano. A partir de dispositivos que permitem a comunicação direta entre o cérebro e máquinas até intervenções que buscam aprimorar ou modificar funções cognitivas, a neurotecnologia está avançando em um ritmo acelerado, trazendo consigo uma série de questões científicas e éticas que necessitam de uma reflexão cuidadosa (Cirillo et al., 2024).

Os avanços na interface cérebro-máquina (ICM) são talvez os exemplos mais visíveis e discutidos de neurotecnologia. Estas interfaces, que incluem tanto dispositivos invasivos quanto não invasivos, permitem a comunicação direta entre o cérebro humano e dispositivos externos, como computadores e próteses robóticas. Os desenvolvimentos nesse campo têm possibilitado que indivíduos com deficiências motoras recuperem certa autonomia, controlando dispositivos com seus pensamentos. No entanto, esses avanços também levantam preocupações sobre a privacidade mental e o controle sobre os próprios pensamentos, uma vez que essas interfaces têm o potencial de decodificar e influenciar processos cognitivos internos de maneira sem precedentes (Melo, 2023).

A neuroplasticidade, a capacidade do cérebro de reorganizar suas conexões neuronais em resposta a novos estímulos ou lesões, desempenha um papel crucial na neurotecnologia. Dispositivos que exploram a neuroplasticidade têm o potencial de acelerar a recuperação de pacientes após lesões cerebrais, proporcionando novas oportunidades para a reabilitação neurológica. No entanto, a manipulação direta dos processos cerebrais através da tecnologia também levanta questões éticas significativas, como a definição dos limites do que é aceitável em termos de intervenção no cérebro humano e as implicações para a identidade e a autonomia pessoal (Cirillo et al., 2024).

Além das aplicações médicas, a neurotecnologia está sendo explorada em contextos militares e de segurança. Países como os Estados Unidos e a China estão investindo pesadamente em programas de pesquisa que utilizam neurotecnologias para potencializar capacidades cognitivas de soldados ou até mesmo para desenvolver formas de controle mental ou manipulação emocional em situações de guerra. A militarização da neurociência, especialmente no contexto da chamada guerra cognitiva, levanta preocupações éticas sobre

o uso de tecnologias que poderiam ser exploradas para manipular ou controlar populações inteiras, bem como sobre o potencial desdobramento de uma nova corrida armamentista tecnológica (Ambros, 2024).

No campo dos direitos humanos e da ética, a emergência da neurotecnologia tem gerado discussões sobre os chamados neurodireitos, que se referem aos direitos fundamentais relacionados à proteção da privacidade mental, à autonomia cognitiva e à integridade mental. Esses direitos estão ganhando destaque à medida que as tecnologias avançam, e a capacidade de acessar e modificar diretamente os processos mentais se torna mais realista. A ficção científica, como a série "Black Mirror", tem abordado essas questões de maneira provocativa, imaginando cenários em que a privacidade mental é completamente invadida por tecnologias de engenharia reversa. Estes cenários, embora fictícios, trazem à tona a necessidade urgente de desenvolver marcos regulatórios que protejam os indivíduos de abusos potenciais dessas tecnologias (Porto et al., 2023).

A autodeterminação e a autonomia pessoal são princípios centrais que estão sendo desafiados pelos avanços da neurotecnologia. A possibilidade de manipular diretamente a mente humana levanta questões sobre até que ponto as pessoas realmente controlam suas próprias decisões e pensamentos quando dispositivos externos podem influenciar ou mesmo ditar certas escolhas. A interface cérebro-máquina, em particular, coloca em questão os limites da autodeterminação, já que o uso dessas tecnologias pode implicar em novas formas de controle e manipulação da vontade humana, potencialmente comprometendo a autonomia individual (Melo, 2023).

Por outro lado, o campo emergente do neurodireito, que explora as implicações legais e éticas da neurotecnologia, sugere que estamos em um ponto crítico na definição de políticas que possam regular o uso dessas tecnologias de maneira que respeite os direitos humanos fundamentais. A colisão de direitos fundamentais, como a privacidade, a liberdade e a integridade física e mental, dentro do contexto da neurotecnologia, demanda uma abordagem balanceada que considere tanto os benefícios quanto os riscos dessas inovações. As discussões sobre razoabilidade e proporcionalidade são essenciais para assegurar que as intervenções neurotecnológicas sejam realizadas de forma ética e responsável, garantindo que os benefícios superem os riscos potenciais (De Miranda et al., 2023).

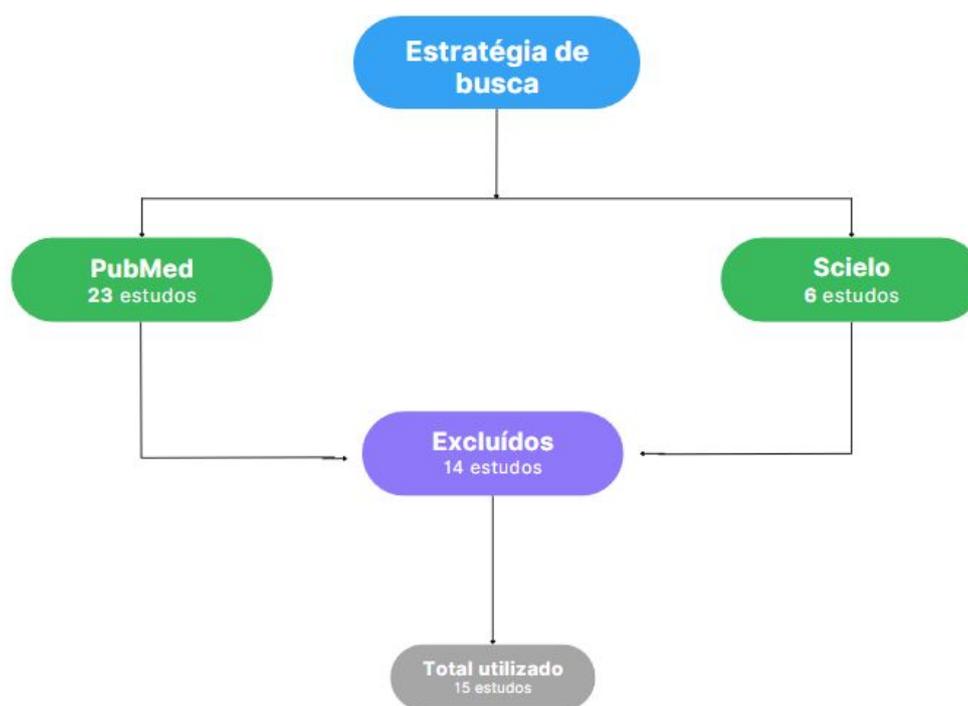
2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão bibliográfica, que teve como objetivo compilar, analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre neurotecnologia. As fontes de dados consultadas incluem livros, artigos científicos, teses, dissertações e publicações em periódicos especializados. Para garantir a relevância e atualidade do material, foram priorizadas publicações dos últimos dez anos que abordam tópicos diretamente relacionados às neurotecnologias, como interfaces cérebro-computador, inteligência artificial aplicada à neurologia e neurodireitos. As fontes que não apresentavam dados empíricos ou análises teóricas pertinentes foram excluídas, garantindo a qualidade e credibilidade acadêmica do estudo.

A revisão foi conduzida em etapas. Primeiramente, realizou-se uma busca de literatura em bases de dados acadêmicas como PubMed, Scopus e Embase, visando identificar fontes relevantes. Em seguida, a seleção dos estudos foi feita com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos previamente. Após essa triagem, os estudos selecionados passaram por uma análise crítica, na qual foram avaliados quanto à metodologia empregada, resultados obtidos e relevância para o campo das neurotecnologias. Por fim, os principais achados foram compilados e discutidos, destacando-se as implicações éticas, jurídicas e sociais.

As ferramentas e métodos utilizados incluem a análise qualitativa dos conteúdos, para identificar padrões e temas emergentes, bem como a análise comparativa das diferentes perspectivas apresentadas nas fontes revisadas. Essas análises permitem uma avaliação equilibrada dos avanços tecnológicos e dos desafios enfrentados no campo da neurotecnologia.

A fim de garantir a reprodutibilidade e a validade dos resultados, a metodologia foi documentada de forma rigorosa e transparente. Todo o processo de seleção e análise das fontes foi detalhado, permitindo que o estudo seja replicado e que seus resultados possam ser verificados por outros pesquisadores.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão sobre os avanços da neurotecnologia e suas implicações éticas e legais é um campo em constante evolução, que suscita reflexões profundas sobre a interação entre seres humanos e máquinas. Com a integração cada vez mais sofisticada das interfaces cérebro-máquina (ICMs) e da inteligência artificial (IA) no cotidiano, emergem questões sobre a dignidade humana, a privacidade mental e o direito à autodeterminação. Essas tecnologias têm o potencial de transformar profundamente a sociedade, mas também apresentam desafios significativos que precisam ser abordados de maneira responsável e ética (Cruz, Cruz e Júnior, 2023).

A dignidade humana é um dos principais valores em risco com o avanço da neurotecnologia. À medida que as ICMs permitem a decodificação e manipulação dos pensamentos, surgem preocupações sobre a possível violação da privacidade mental e a coerção cognitiva. A capacidade de acessar diretamente os processos cerebrais pode comprometer a integridade da identidade individual, uma vez que a autonomia pessoal pode ser afetada por influências externas tecnológicas. Neste contexto, é essencial garantir que as intervenções neurotecnológicas sejam reguladas por princípios éticos que preservem a dignidade e a liberdade dos indivíduos (Lopes, 2024).

O direito à convivência harmônica entre humanos e máquinas também se destaca como uma nova fronteira do direito fundamental. A introdução de ICMs e IA nas relações

sociais e profissionais exige a construção de marcos legais que assegurem uma interação equilibrada e justa entre humanos e dispositivos tecnológicos. Isso inclui a proteção contra o uso abusivo de tecnologias que possam levar à discriminação ou à marginalização de indivíduos que optem por não utilizar tais inovações. A coexistência pacífica entre humanos e máquinas depende da criação de uma estrutura normativa que equilibre os direitos dos indivíduos com os benefícios tecnológicos (Cruz, Cruz e Júnior, 2023).

Os avanços na neurotecnologia também trazem à tona a importância do consentimento informado como um mecanismo fundamental para preservar o direito à identidade e à integridade mental. O consentimento deve ser obtido de maneira livre, esclarecida e específica, garantindo que os indivíduos compreendam plenamente as implicações das intervenções neurotecnológicas. A complexidade dessas tecnologias exige uma abordagem multidisciplinar para garantir que o consentimento seja verdadeiramente significativo, considerando os aspectos técnicos, éticos e legais envolvidos (Dantas; Jereissati, 2020).

Além disso, a crescente popularidade do metaverso e de outras realidades virtuais levanta novas questões sobre os neurodireitos como direitos humanos. O uso de neurotecnologias em ambientes virtuais expande o campo de atuação dessas inovações, mas também amplia os riscos associados à manipulação cognitiva e à invasão da privacidade mental. É crucial que o desenvolvimento dessas tecnologias seja acompanhado de diretrizes claras e rigorosas que protejam os direitos fundamentais, assegurando que os benefícios do metaverso sejam usufruídos de maneira responsável e equitativa (Borges, 2022).

A neurotecnologia, ao desbravar os mistérios do cérebro, proporciona avanços significativos na neurologia clínica, permitindo novas formas de diagnóstico e tratamento de condições neurológicas. No entanto, esses avanços também apresentam desafios complexos que exigem uma reflexão ética contínua. A integração de tecnologias que manipulam ou influenciam diretamente o cérebro humano requer um equilíbrio cuidadoso entre o progresso científico e a proteção dos direitos humanos, assegurando que as inovações sejam usadas para o bem-estar humano e não para a exploração ou controle (Freire et al., 2024).

A análise dos estudos mencionados na tabela revela um panorama multifacetado sobre as neurotecnologias, suas aplicações, e os desafios éticos, jurídicos e sociais que envolvem essas inovações. A combinação de Interface Cérebro-Computador (ICCs) com Inteligência Artificial (IA), conforme discutido por Cruz, Cruz e Júnior (2023), representa um

dos avanços mais significativos na interface entre humanos e máquinas. Esses autores destacam que a convivência harmônica entre humanos e máquinas não é apenas uma questão técnica, mas envolve a construção de direitos fundamentais que assegurem a dignidade e a autodeterminação dos indivíduos. Essa perspectiva é crucial, pois a interação contínua com tecnologias que podem influenciar ou até modificar os processos mentais humanos levanta questões éticas complexas que necessitam de regulação adequada e reflexões profundas sobre as implicações a longo prazo (Cruz; Cruz; Júnior, 2023).

Na mesma linha, Lopes (2024) aborda a neurotecnologia como potencial ameaça à dignidade humana. Sua análise concentra-se nos riscos associados à perda de privacidade mental e coerção cognitiva, temas que são cruciais no campo emergente do Neurodireito. A autora argumenta que, embora as neurotecnologias possam oferecer benefícios substanciais, como no tratamento de doenças neurológicas, elas também podem ser usadas de maneira que comprometa a autonomia cognitiva dos indivíduos. Essa dualidade, entre benefício e risco, é um tema recorrente na literatura sobre neurotecnologia, e ressalta a necessidade de um equilíbrio cuidadoso entre inovação e proteção dos direitos humanos fundamentais (Lopes, 2024).

Freire et al. (2024) contribuem para essa discussão ao destacar os avanços e desafios na neurologia clínica proporcionados pelas neurotecnologias. Eles observam que essas tecnologias têm o potencial de revolucionar o diagnóstico e tratamento de condições neurológicas complexas, oferecendo novas possibilidades para pacientes que antes tinham poucas opções terapêuticas. No entanto, eles também alertam para os desafios técnicos e éticos que acompanham esses avanços, incluindo a necessidade de garantir que essas tecnologias sejam acessíveis a todos os pacientes, e não apenas àqueles em países ou regiões mais desenvolvidas. A inclusão equitativa de todas as populações no acesso às neurotecnologias é um ponto crítico que deve ser abordado na medida em que essas tecnologias se tornam mais difundidas (Freire et al., 2024).

Dantas e Jereissati (2020) focam em outro aspecto fundamental: o consentimento informado e o direito à identidade no contexto das intervenções neurotecnológicas. Eles argumentam que o consentimento deve ser visto não apenas como um procedimento formal, mas como um processo contínuo de diálogo entre pacientes e profissionais de saúde. A preservação do direito à identidade é particularmente importante em um cenário onde as neurotecnologias podem alterar ou influenciar os processos mentais de maneira profunda e

duradoura. Nesse contexto, o consentimento informado torna-se um mecanismo crucial para assegurar que os pacientes mantenham o controle sobre suas próprias identidades e processos de tomada de decisão, mesmo quando submetidos a intervenções tecnológicas invasivas (Dantas; Jereissati, 2020).

A discussão sobre os direitos humanos no contexto das neurotecnologias é aprofundada por Borges (2022), que examina as diretrizes para a construção responsável do metaverso e a importância dos neurodireitos como direitos humanos. Borges enfatiza que, à medida que as tecnologias avançam, é essencial que as estruturas legais e éticas sejam adaptadas para proteger os indivíduos contra possíveis abusos, como a manipulação cognitiva e a coerção digital. Ele propõe que os neurodireitos sejam incorporados como uma nova categoria de direitos humanos, assegurando que a integridade cognitiva dos indivíduos seja protegida em um mundo cada vez mais interconectado e tecnologicamente avançado. Esta abordagem, que liga o desenvolvimento tecnológico à proteção dos direitos fundamentais, é essencial para garantir que as neurotecnologias sejam usadas de maneira que respeite a dignidade humana (Borges, 2022).

Mua (2024) oferece uma visão abrangente sobre o estado da arte das neurotecnologias no Brasil, destacando tanto os avanços quanto as limitações na aplicação e regulamentação dessas tecnologias. Ela observa que, embora o Brasil tenha feito progressos significativos no campo, ainda há muitos desafios a serem superados, incluindo a necessidade de maior investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como a criação de políticas públicas que incentivem a inovação responsável. Além disso, Mua destaca a importância de incluir uma diversidade de perspectivas na discussão sobre neurotecnologia, para garantir que as soluções desenvolvidas sejam adequadas para as necessidades de diferentes populações e contextos culturais (Mua, 2024).

O estudo de Nolêto et al. (2020) sobre o uso da tecnologia de Interface Cérebro-Máquina na reabilitação de pacientes ressalta a importância das neurotecnologias na prática clínica. Eles identificam que essas tecnologias não só proporcionam novas opções de tratamento, mas também desafiam os profissionais de saúde a reconsiderar as abordagens tradicionais à reabilitação. A eficácia dessas tecnologias em melhorar a qualidade de vida dos pacientes é inegável, mas os autores também alertam para a necessidade de uma formação contínua para os profissionais de saúde, a fim de que possam usar essas ferramentas de maneira eficaz e ética. A inclusão dessas tecnologias na prática clínica diária requer não

apenas um conhecimento técnico avançado, mas também uma compreensão profunda dos aspectos éticos e legais envolvidos (Nolêto et al., 2020).

A hipótese dos neurodireitos humanos, discutida por Do Vale e Da Silva Neto (2020), oferece uma perspectiva ética e jurídica sobre o impacto das neurotecnologias nos direitos humanos. Eles argumentam que as neurotecnologias, se não forem reguladas adequadamente, podem representar uma ameaça significativa à liberdade e autonomia dos indivíduos. Para mitigar esses riscos, os autores propõem a criação de um quadro legal robusto que proteja os neurodireitos, assegurando que os indivíduos mantenham o controle sobre suas próprias mentes e processos de tomada de decisão. Essa abordagem é crucial para garantir que as neurotecnologias sejam usadas de maneira que promova o bem-estar humano, em vez de comprometer os direitos fundamentais (Do Vale; Da Silva Neto, 2020).

Rieger (2022) explora as implicações da neurotecnologia para a privacidade mental e a liberdade cognitiva, sugerindo novas perspectivas para os direitos fundamentais. Ela argumenta que, à medida que as neurotecnologias se tornam mais avançadas, é necessário repensar as noções tradicionais de privacidade e liberdade. A proteção da privacidade mental e da liberdade cognitiva torna-se essencial em um mundo onde as tecnologias podem acessar, alterar e até manipular os processos mentais dos indivíduos. Rieger propõe que novos direitos fundamentais sejam desenvolvidos para proteger esses aspectos cruciais da experiência humana, garantindo que as pessoas possam viver e pensar livremente, sem interferências indevidas de tecnologias externas (Rieger, 2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das neurotecnologias e suas implicações éticas, jurídicas e sociais revela um cenário complexo e multifacetado, onde o avanço tecnológico precisa ser acompanhado por reflexões profundas e rigorosas sobre o impacto dessas inovações na vida humana. As neurotecnologias, que englobam desde as interfaces cérebro-computador até as mais recentes aplicações de inteligência artificial no campo neurológico, oferecem potencial inestimável para melhorar a qualidade de vida, ampliar as capacidades humanas e tratar condições médicas antes consideradas intratáveis. No entanto, esses benefícios vêm acompanhados de desafios igualmente significativos, que exigem a criação de um quadro regulatório robusto e a constante atualização das práticas éticas e jurídicas. É imperativo que o desenvolvimento dessas tecnologias seja acompanhado por um compromisso com a

promoção do bem-estar humano, assegurando que as inovações não resultem em novas formas de vulnerabilidade ou exploração.

REFERÊNCIAS

AMBROS, Christiano Cruz. Guerra Cognitiva e militarização da neurociência: programas de pesquisa em neurotecnologias dos Estados Unidos e da China. *Revista Brasileira de Estudos de Defesa*, v. 11, n. 1, p. 153-180, 2024.

BORGES, Gustavo Silveira. Metaverso: diretrizes para sua construção responsável e os neurodireitos como direito humano. *Humanidades & Inovação*, v. 9, n. 18, p. 158-170, 2022.

CIRILLO, Milena Solti et al. O Upgrade do Cérebro: Neuroplasticidade e Neurotecnologia. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 4, p. 1834-1863, 2024.

CRUZ, Patrícia Moura Monteiro; CRUZ, Renato Vilardo de Mello; JÚNIOR, Antonio Jorge Pereira. ICCs combinadas com IA e a construção do direito fundamental à convivência harmônica entre humanos e máquinas. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). *Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2020. p. 59.

DANTAS, Carlos Henrique Félix; JEREISSATI, Régis Gurgel do Amaral. Corpo, neurotecnologias e dados neurais: o consentimento como um parâmetro para preservar o direito à identidade. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). *Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2020. p. 99.

DE MIRANDA, Maria Lucilia Morais et al. Neurodireito: colisões dos direitos fundamentais dentro da razoabilidade e proporcionalidade. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 12, p. 164-184, 2023.

DO VALE, Luís António Malheiro Meneses; DA SILVA NETO, Wilson Seraine. A hipótese dos neurodireitos humanos: um olhar ético-jurídico sobre a neurotecnologia. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). *Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2020.

FREIRE, Lúcia Helena Rosa Ribeiro et al. Unraveling the mysteries of the brain: Advances and challenges in clinical neurology: Desvendando os mistérios do cérebro: Avanços e desafios na neurologia clínica. *Concilium*, v. 24, n. 7, p. 468-476, 2024.

LETRA, Pedro Alexandre Santos. Tecnologias e aplicações da interface cérebro-computador (BCI). In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). *Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2022.

LOPES, Ana Maria D.Ávila. Neurotecnologia: quando a tecnologia ameaça a dignidade humana. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). *Neurodireito, Neurotecnologia e Direitos Humanos*. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2023. p. 17.

- MELO, José Octávio de Castro. A neurotecnologia e os direitos da personalidade: uma análise dos avanços e potenciais riscos do uso da interface cérebro-máquina na autodeterminação da pessoa. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2023. p. 69.
- MUA, Cíntia Teresinha Burhalde. Neurodireitos: o estado da arte no Brasil. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2020. p. 91.
- NOLÊTO, Bruna Corrêa et al. Uso da tecnologia Interface Cérebro-Máquina na reabilitação de pacientes. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, p. e84691110016, 2020.
- PORTO, Carolina Silva et al. Neurodireitos e privacidade mental sob a ótica do episódio engenharia reversa em Black Mirror: proteção ou controle?. *Interfaces Científicas-Direito*, v. 9, n. 2, p. 352-368, 2023.
- RIEGER, Poliene Fernanda Souza Nascimento. Privacidade mental e liberdade cognitiva: perspectivas e desdobramentos para novos direitos fundamentais no contexto de desenvolvimento e aplicação de neurotecnologia. In: CRUZ, Renato Vilardo de Mello (Org.). Desafios da Interface Neurodireito e Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Editora XYZ, 2022.
- TOBBIN, Raissa Arantes; CARDIN, Valéria Silva Galdino. Biohacking e ciborguismo: o melhoramento humano à luz dos direitos da personalidade. *Revista Opinião Jurídica (Fortaleza)*, v. 20, n. 35, p. 110-138, 2022.

CAPÍTULO II

O PAPEL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO SELETIVO EMPRESARIAL

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING THE CORPORATE SELECTION PROCESS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-2

Raquel Coelho Torres¹

Ikaro Rafael Marques da Silva²

Sabrina Benicio de Farias Silva³

Alan Oliveira Souza⁴

Ana Clara Ribeiro Cabral e Mota⁵

Tatiana Cristina Vasconcelos⁶

¹ Graduanda em Psicologia - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

² Graduando em Psicologia - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

³ Graduanda em Psicologia - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

⁴ Graduando em Psicologia - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

⁵ Graduada em Psicologia - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

⁶ Docente (UEPB). Doutorado em Educação (UERJ). Licenciada em Psicologia e Mestrado em Psicologia Social (UFPB), Bacharel em Psicologia (UNIFIP). Especialista em Psicopedagogia (UCM) e em Neuropsicologia (UNYLEYA).

RESUMO

Este capítulo aborda a crescente influência da Inteligência Artificial (IA) no processo de recrutamento empresarial, destacando a capacidade de automatização e otimização de tarefas, além de contribuir com a precisão das análises dos perfis dos candidatos. As tecnologias de IA, como algoritmos de *Machine Learning* e *Applicant Tracking Systems* (ATS), são discutidas por seus benefícios para empresas e candidatos. A IA melhora a eficiência e efetividade dos processos seletivos, economizando tempo e recursos e melhorando a comunicação. Nesse contexto, são destacados os desafios éticos e legais, a exemplo do viés algorítmico e da necessidade de regulamentação específica. Destarte, são apresentadas reflexões sobre o futuro promissor da IA no recrutamento, mas que também exige práticas éticas uma vez que a integração da inteligência humana e artificial pode resultar em processos seletivos mais justos e eficientes, beneficiando empregadores e candidatos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Recrutamento. Recursos Humanos. Otimização.

ABSTRACT

This paper addresses the growing influence of Artificial Intelligence (AI) in the business recruitment process, highlighting its ability to automate and optimize tasks, as well as contribute to the accuracy of candidate profile analyses. AI technologies, such as Machine Learning algorithms and Applicant Tracking Systems (ATS), are discussed for their benefits to both companies and candidates. AI improves the efficiency and effectiveness of recruitment processes, saving time and resources while enhancing communication. In this context, ethical and legal challenges are highlighted, such as algorithmic bias and the need for specific regulations. Consequently, reflections are presented on the promising future of AI in recruitment, which also requires ethical practices, as the integration of human and artificial intelligence can result in fairer and more efficient selection processes, benefiting both employers and candidates.

Keywords: Artificial intelligence. Recruitment. Human Resources. Optimization.

1. INTRODUÇÃO

O mundo está constantemente em transformação desde o seu surgimento, e atualmente, com a quarta Revolução Industrial em curso, vivencia uma transição digital impulsionada pelo avanço de tecnologias inovadoras, as quais modificam rapidamente e de forma profunda o panorama global. Importante destacar que, a transformação digital e a IA não se restringem mais apenas a computadores, robôs e *softwares* voltados para melhorar a capacidade física humana (Mendonça; Rodrigues; Aragão; Del Vecchio, 2018).

Antes de tudo, é fundamental compreender o conceito de Inteligência Artificial (IA), que se refere a um campo da ciência da computação voltado para o desenvolvimento de dispositivos capazes de imitar habilidades humanas como raciocínio, percepção, tomada de decisões e resolução de problemas. Segundo o *Oxford English Dictionary online*, Inteligência Artificial é descrita como "a teoria e o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de executar tarefas que normalmente requerem inteligência humana". Reforçando esse conceito, Frank, Roehrig e Pring (2018) definem Inteligência Artificial como a área da Ciência da Computação focada em máquinas que aprendem.

No ambiente organizacional, as transformações tecnológicas são evidentes e impactam diversas áreas, entre elas está a automação e a robótica que têm otimizado processos e reduzido erros, enquanto a inteligência artificial e o *machine learning* melhoram a análise de dados e as previsões de mercado. À medida que a economia global se torna mais dinâmica e exige processos mais eficientes, essas tecnologias contribuem para maior eficiência, economia de tempo e lucratividade ampliada para as corporações (Mendonça *et al.*, 2018). Nesse contexto, o departamento de Recursos Humanos (RH) está sendo cada vez mais solicitado a alinhar suas ações com a estratégia organizacional, sendo diretamente impactado por essas mudanças enquanto apoia o desenvolvimento do negócio e da organização neste novo cenário digital (Jatobá, 2020)

Conforme afirmam Licciardi, Farias e Santos (2018), as novas abordagens tecnológicas aplicadas ao Recrutamento e Seleção (RS) têm como objetivo aprimorar o funcionamento cotidiano das organizações, proporcionando um impulso ao seu desenvolvimento ao automatizar a análise dos perfis dos candidatos, buscando identificar aqueles que melhor se encaixam nas exigências da vaga, o que pode resultar em maior eficácia operacional.

Visando aprimorar a eficácia de seus processos organizacionais, as empresas têm adotado cada vez mais metodologias tecnológicas. Esse cenário é corroborado por uma pesquisa realizada pela *McKinsey*, que revela um aumento significativo no interesse pelo uso da IA nos últimos seis anos, tanto por parte de indivíduos quanto de organizações. Em 2024, 72% das empresas globais já adotaram essa tecnologia, marcando um avanço considerável em relação aos 55% registrados em 2023 (McKinsey; Company, 2024).

Em síntese, a aplicação de ferramentas de inteligência artificial no setor de RH é altamente benéfica, uma vez que os dados se tornam a força vital da organização, possibilitando decisões mais precisas nos processos seletivos da empresa (Reilly, 2018).

2. TECNOLOGIAS DE IA UTILIZADAS EM RECRUTAMENTO

As tecnologias de IA estão revolucionando o processo de recrutamento empresarial, proporcionando maior eficiência e inovação. Segundo Choubey (2023), essas ferramentas automatizam tarefas repetitivas e reduzem a necessidade de lidar manualmente com os dados brutos necessários para a contratação. Entre as principais tecnologias empregadas nesse contexto, destacam-se os algoritmos de *Machine Learning* e *Applicant Tracking System (ATS)*.

Os algoritmos de *Machine Learning* desempenham um papel muito importante na análise e triagem de currículos, pois esses algoritmos são treinados para identificar padrões e características específicas que correspondem às qualificações exigidas para determinada vaga. De acordo com Torres (2023):

a utilização de modelos de *machine learning* permite uma abordagem de maneira diferente das tradicionais pois busca conhecer o nível adequado de curso necessário em cada atividade tornando-a mais flexível e adaptativa, pois o modelo pode aprender a partir dos dados disponíveis, sem a necessidade de especificação prévia do problema. Isso possibilita a aplicação de modelos mais complexos, capazes de lidar com dados de diferentes naturezas e formatos (Torres, 2023, p.11).

Além disso, há o *software Applicant Tracking System*, uma ferramenta de recrutamento que acompanha candidatos desde a atração até a contratação (Puccini *et al.*, 2022). Permite buscar candidatos, criar formulários, testes, perguntas, realizar pré-seleção e ranquear currículos. Os autores ainda destacam que a ATS aumenta o desempenho do processo seletivo, otimizando o tempo na comunicação entre gestores, além de promover uma comunicação mais eficiente com os candidatos, permitindo que estes acompanhem as informações sobre o processo seletivo e seu andamento.

Essas tecnologias não só aumentam a eficiência dos processos de recrutamento, mas também permitem que o RH exerça sua função primordial de gerir pessoas, ficando mais próximo aos colaboradores, observando e analisando suas necessidades com maior facilidade, e resolvendo conflitos internos que possam surgir dentro das organizações (Gil, Rodrigues, Dutra, 2018). Dessa forma, a IA e suas ferramentas associadas estão transformando o cenário de recrutamento, trazendo benefícios significativos tanto para empregadores quanto para candidatos.

3. IMPACTO DA IA NA EFICIÊNCIA E EFETIVIDADE DO PROCESSO SELETIVO

É notório que os modelos de negócios das organizações mudaram, refletindo o impacto atual da IA nas organizações. Isso está rapidamente alterando como os gestores planejam o futuro e como as organizações se ajustam às novas estratégias de melhoria contínua, nesse sentido, os líderes precisarão incorporar os benefícios da automação e estar conscientes das mudanças que a IA pode causar nos processos, empregos e desempregos (Violante; Andrade, 2022).

Tendo isso em vista, observam-se mudanças significativas no processo de seleção, que têm como objetivo principal agilizar os procedimentos. A economia de tempo desempenha um papel crucial no recrutamento e seleção, onde a tecnologia é fundamental para alcançar essa eficiência. A entrevista por vídeo, por exemplo, oferece conveniência tanto para o candidato quanto para o profissional responsável pelo processo de recrutamento e seleção. Para o candidato, a principal vantagem é a eliminação da necessidade de deslocamento até o local da entrevista, facilitada pelo uso da videochamada. Para o recrutador, há o benefício de economizar tempo ao agendar entrevistas sequenciais de forma mais eficiente. Além disso, a entrevista por vídeo também reduz os custos tanto para a empresa quanto para o candidato. Do ponto de vista do candidato, isso resulta em economia financeira significativa, pois não é necessário arcar com despesas de transporte e alimentação para comparecer a uma entrevista presencial (Blumen; Cepellos, 2023).

Portanto, desde o início da candidatura às vagas, já é viável utilizar inteligência artificial no recrutamento. As empresas frequentemente requerem que os candidatos preencham e reenviem as mesmas informações em várias etapas do processo seletivo, o que pode ser cansativo e monótono, deixando uma impressão negativa nos recrutadores. A IA pode automatizar a coleta dessas informações e preenchê-las em formulários digitais mais

dinâmicos e eficientes. As informações de candidatura podem ser automaticamente armazenadas e categorizadas em bancos de dados específicos de acordo com as habilidades e experiências dos candidatos. Isso economiza tempo tanto dos recrutadores, que não precisam mais filtrar uma grande quantidade de candidaturas manualmente, quanto dos próprios candidatos, ao preencherem suas informações (Andrade; Hervé, 2020).

Para além disso, pode ser observado que o processo de recrutamento e seleção poderá prejudicar certos candidatos que não são identificados pelos algoritmos devido à falta de familiaridade com recursos tecnológicos. Como resultado, esses profissionais podem ser excluídos do mercado de trabalho por um período indeterminado, sem entender os motivos específicos da não seleção. Isso pode levar a um viés nos algoritmos, favorecendo a seleção de candidatos com perfis semelhantes, resultando em uma escolha predominantemente homogênea. Ademais, a IA requer que os candidatos tenham conhecimento e habilidade para utilizar tecnologias específicas e incluir palavras-chave que serão detectadas pelos algoritmos, demandando uma competência tecnológica essencial dos candidatos (Blumen; Cepellos, 2023).

4. DESAFIOS ÉTICOS E CONSIDERAÇÕES LEGAIS

De acordo com Cabral e Nunes (2021), a IA se consolidou como um elemento essencial nas empresas devido à capacidade de auxiliar na tomada de decisões, realizar análises e armazenar dados. Esta tecnologia tem sido amplamente aplicada em diversos setores organizacionais, principalmente no departamento de RH, onde o processo de recrutamento e seleção enfrenta desafios frequentes na identificação de candidatos com perfil e potencial adequados à empresa (Cabral; Nunes, 2021).

Em meio à popularidade da IA, seu uso e implementação tem sido amplamente debatido e questionado, pois, conforme Valderramas (2020), a ética ainda é um dos principais desafios na relação homem-máquina. Em seu artigo, o autor aborda a ética sob diversas perspectivas, especialmente a filosófica, destacando seu papel na sociedade. Afinal, a ética visa superar conflitos de interesse e orientar tanto o individual quanto o coletivo a decisões socialmente justas (Rocha, 2023).

Um dos principais desafios éticos da IA, apontado por Valderramas (2020), é o viés algorítmico, já que os algoritmos, desenvolvidos por humanos, tendem a perpetuar os preconceitos dos seus criadores. Cabral e Nunes (2021) revelam que esse tipo de tecnologia

ajuda a identificar perfis e aptidões de candidatos às vagas de emprego. Entretanto, Rodrigues (2021) destaca que, pelo fato de a tecnologia não ser neutra, os algoritmos reproduzem o que aprenderam dos dados humanos. Sendo assim, a autora afirma que, geralmente, os programadores, que são majoritariamente homens, cis e brancos, não visualizam violências contra pessoas negras, marginalizando essa população por meio do racismo algorítmico. Portanto, deveria ser possível garantir que as decisões tomadas pelos algoritmos respeitem princípios éticos, considerando as particularidades de cada caso (Rocha, 2023).

Rodrigues (2021) afirma que não existe regulação específica sobre IA no Brasil, destacando a necessidade de regulamentação tecnológica e maior diálogo entre desenvolvedores e profissionais do Direito, para que seja garantido o uso ético das tecnologias. Historicamente, a relação homem-máquina tem ocasionado problemas éticos na sociedade, e, em meio à revolução digital — que influenciou fortemente normas, princípios e valores sociais — muitas empresas acabaram optando pela IA para atender demandas urgentes durante a pandemia da COVID-19, o que exigiu uma incontrolável e rápida adaptação a novos tipos de tecnologia (Cabral; Nunes, 2021; Valderramas, 2020).

Assim, Valderramas (2020) aponta a privacidade como outro desafio ético da IA. O comportamento humano é aprendido e coletado pelas máquinas, potencialmente resultando em abusos de privacidade e uso não consentido dos dados. Neste caso, a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil tem o intuito de proteger os dados pessoais dos indivíduos (Rocha, 2023), enquanto o país está comprometido com princípios da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) sobre o uso de IA, que exigem transparência, segurança e respeito aos Direitos Humanos (OCDE, 2019 *apud* Rocha, 2023).

No entanto, Valderramas (2020) e Rocha (2023) alegam que garantir responsabilidade e transparência no uso da IA é desafiador, pois os algoritmos não fornecem explicações claras sobre suas conclusões, o que dificulta a identificação de vieses e erros. Logo, o controle sobre as máquinas é questionável, já que o risco de comportamentos imprevisíveis levanta questões de segurança (Althoff, 2007 *apud* Valderramas, 2020). Rocha (2023) menciona que essa é outra desvantagem da IA: a falta de responsabilização, visto que a automação dificulta a atribuição de culpa, causando injustiças, uma vez que a IA não pode ser julgada pelos mesmos padrões éticos dos humanos. Por isso, é necessário haver um equilíbrio entre eficiência, ética e justiça para garantir uma IA justa e confiável, mesmo que isso exija maiores investimentos por parte das empresas (Rocha, 2023).

Por fim, o avanço da IA traz benefícios à sociedade, mas também desafios éticos que não podem ser ignorados. A pesquisa de Cabral e Nunes (2021) revelou que 84% dos entrevistados acreditam que há preconceito em processos seletivos com IA, como foi abordado em outro estudo de que a IA priorizava homens em vez de mulheres (Reis; Graminho, 2019 *apud* Cabral; Nunes, 2021).

Além disso, Rocha (2023) adverte que a dependência excessiva de IA pode desumanizar o processo seletivo, uma vez que o julgamento humano é capaz de captar nuances e subjetividades, ao contrário da IA. Assim, Cabral e Nunes (2021) defendem a ideia de que a inteligência humana e a artificial devem trabalhar juntas, dado que as redes artificiais não reproduzem a complexidade do cérebro humano e precisam de otimização para que seja assegurado um uso justo e eficiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente influência da IA no processo de recrutamento empresarial destaca suas capacidades de automatização e otimização de tarefas, além de proporcionar análises mais precisas dos perfis dos candidatos. Os algoritmos de *Machine Learning* e *Applicant Tracking Systems* (ATS) são discutidos em termos de suas funções e benefícios para as empresas e candidatos. Ademais, o impacto positivo da IA na eficiência nos processos seletivos destaca-se pela economia de tempo e recursos, bem como na melhora da comunicação e interação durante o recrutamento.

Vale pontuar que embora a IA ofereça significativas melhorias na eficiência dos processos seletivos, também apresenta desafios éticos e legais importantes. A potencial perpetuação de vieses algorítmicos, a falta de transparência nas decisões automatizadas e a necessidade de regulamentações específicas são questões importantes a serem debatidas. A preocupação com a privacidade dos dados dos candidatos e a necessidade de um equilíbrio entre a automação e o julgamento humano também são aspectos que merecem destaque. Esses desafios requerem uma abordagem cuidadosa para garantir que a implementação da IA nos processos seletivos seja justa e ética.

O futuro da IA no processo seletivo empresarial parece promissor devido ao constante avanço tecnológico, que promete aprimorar ainda mais a eficiência na seleção de candidatos. No entanto, é imprescindível que as empresas adotem práticas éticas e transparentes no uso dessas tecnologias. A colaboração entre desenvolvedores de IA, profissionais de RH e

especialistas em ética e legislação será vital para criar sistemas justos e inclusivos. A integração harmoniosa da inteligência humana com a artificial pode levar a processos seletivos mais equilibrados, que valorizem tanto a inovação quanto uma escolha justa. Assim, o uso responsável da IA pode transformar positivamente o recrutamento, beneficiando tanto empregadores quanto candidatos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. C.; HERVÉ, M. Pessoa vs máquina uma análise dos impactos da inteligência artificial na gestão de pessoas. **Revista Gestão e Gerenciamento**, [S.l.], v. 20, n. 20, maio 2023. ISSN 2447-1291. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/956>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- BLUMEN, D; CEPellos, V. M. Dimensões do uso de tecnologia e Inteligência Artificial (IA) em Recrutamento e Seleção (R&S): benefícios, tendências e resistências. **Cadernos EBAPE. BR**, v. 21, n. 2, p. e2022-0080, 2023.
- CABRAL, J. A., NUNES, R. S. **A inteligência artificial no departamento de recursos humanos: um estudo de caso sobre a IA no processo de recrutamento e seleção**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Recursos Humanos) – Fatec São Carlos, São Carlos, 2021.
- CHOUHEY, S. Research Gaps in HR Applications of AI in Recruitment. **Global Journal of Management and Business Research**, USA, v. 23, p. 1-8, 2023. Disponível em: https://globaljournals.org/GJMbr_Volume23/4-Research-Gaps-in-HR-Applications.pdf. Acesso em: 6 jul de 2024.
- FRANK, M.; ROEHRIG, P.; PRING, B.: **O que fazer quando as máquinas fazem tudo: como ter sucesso em um mundo de IA, algoritmos, robôs e big data**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.
- GIL, A. M.; RODRIGUES, B. A. A.; DUTRA, P. M. C. Cultura organizacional e os processos de inovação e mudança: a relação dos recursos humanos e a inteligência artificial. **REA - Revista Euroamericana de Antropologia**, Salamanca, n. 6, p. 143-153, 2018.
- JATOBÁ, M. N. **Inteligência artificial no recrutamento & seleção: inovação e seus impactos para a gestão de recursos humanos**. (Mestrado) - Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, 2020.
- LICCIARDI, N.; FARIAS, J. de S.; DOS SANTOS, L. de A. A Importância da Inovação como Diferencial Competitivo nos Processos de Recrutamento e Seleção. **South American Development Society Journal**, [S.l.], v. 4, n. 12, p. 151, dez. 2018. ISSN 2446-5763. Disponível em: <<https://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/133>>. Acesso em: 11 jul. 2024.

- MCKINSEY & COMPANY. The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value. **McKinsey & Company**, 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier> Acesso em: 11 jul de 2024.
- MENDONÇA, A. P. A. De; RODRIGUES, B. A. A.; ARAGÃO, C. A. S. De; DEL VECCHIO, R. C.. Inteligência artificial - recursos humanos frente às novas tecnologias, posturas e atribuições. **Revista Contribuciones a la Economía**, 2018. Disponível em: <http://eumed.net/2/rev/ce/2018/4/inteligencia-artificial.html> . Acesso em: 11 jul de 2024.
- OXFORD ENGLISH DICTIONARY ON LINE. **Intelligence artificial**. Disponível em: https://en.oxforddictionaries.com/definition/artificial_intelligence. Acesso em: 11 jul de 2024.
- PUCCINI, L; *et al.* Impactos da utilização de Applicant Tracking System nos processos de recrutamento e seleção de pessoas: estudo em uma organização do segmento de soluções de Recursos Humanos. **NAVUS - Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 12, p. 01-12, 2022.
- REILLY, P. The impact of artificial intelligence on the HR function. **IES Perspectives on HR 2018**. Institute for Employment Studies, 2018.
- ROCHA, J. R. **O Uso de Inteligência Artificial no Processo de Decisões Judiciais**: uma perspectiva sobre a ética e justiça. 2023. p. 1-55. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Direito, Centro Universitário Faema – Unifaema, Ariquemes, 2023.
- RODRIGUES, P. A. F. **Inteligência artificial no direito**: pelo uso ético das novas tecnologias. *Revista Eletrônica OAB/RJ*, v. 31, n. 2, p. 166-177, jul./ago. 2021.
- TORRES, M. **Modelo de recomendação para alocação de recursos humanos em projetos de engenharia utilizando Machine Learning**. Trabalho de Conclusão de Curso Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.
- VALDERRAMAS, E. **A ética como um dos desafios da Inteligência Artificial**. *In: Workshop sobre aspectos sociais, humanos e econômicos de Software (WASHES)*, 5., 2020, Cuiabá. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 71-80.
- VIOLANTE, A; ANDRADE, A. O potencial da inteligência artificial na gestão. **Gestão e Desenvolvimento**, n. 30, p. 439-479, 2022.

CAPÍTULO III

AS PERSPECTIVAS DO BLOCKCHAIN NO IMPACTO DA TECNOLOGIA NA GESTÃO DOS NEGÓCIOS: EMPREGO E RENDA

THE PERSPECTIVES OF BLOCKCHAIN ON THE IMPACT OF TECHNOLOGY ON BUSINESS MANAGEMENT: EMPLOYMENT AND INCOME

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-3

Sandra Luiza de Oliveira Lima ¹

José Marcos Soares ²

Sebastião Fábio Coimbra ³

Mavial Correira da Silva ⁴

Rafael Cardoso Valença ⁵

Jefferson Wanderson Pereira de Sena ⁶

¹ Mestranda em Administração. Must University

² Mestrando em Administração. Must University

³ Mestrando em Administração. Must University

⁴ Mestrando em Administração. Must University

⁵ Mestrando em Administração. Must University

⁶ Doutorando em Ciência da Computação. Universidade Federal do Pará – UFPA

RESUMO

Este estudo examina o impacto da tecnologia *blockchain* nos negócios, na criação de empregos e na renda individual e nacional. Com sua crescente integração na economia global, é crucial entender como essa tecnologia influencia esses setores, além de sua aplicação em criptomoedas. O objetivo é investigar as várias perspectivas do *blockchain*, destacando seus benefícios potenciais e os desafios para sua implementação e aceitação por governos e empresas. A metodologia utilizada é a pesquisa bibliográfica, coletando informações de plataformas como Google Acadêmico e Scielo, focando em "*blockchain*", "tecnologia" e "negócios". A pesquisa identificou um panorama amplo, refinado para priorizar estudos e artigos científicos recentes, garantindo a atualidade das informações. O estudo é estruturado em seis seções. A primeira introduz o tema e a importância da *blockchain*. A segunda explora a origem e evolução da tecnologia. A terceira examina suas aplicações nos negócios, como eficiência, transparência e segurança em diferentes setores. A quarta investiga o impacto na criação de empregos

e renda, destacando novas oportunidades de carreira. A quinta aborda os benefícios e desafios da adoção do *blockchain*, incluindo regulamentação e privacidade. A última seção apresenta as conclusões, ressaltando as oportunidades e desafios que a *blockchain* representa para a economia global. A tecnologia *blockchain* possui o potencial de transformar significativamente os negócios e o mercado de trabalho, oferecendo transparência, segurança e eficiência. No entanto, sua adoção enfrenta desafios que exigem colaboração entre governos, indústrias e acadêmicos para desenvolver regulamentações adequadas e práticas padronizadas.

Palavras-chave: *Blockchain*. Tecnologia. Negócios.

ABSTRACT

This study examines the impact of blockchain technology on businesses, job creation, and individual and national income. With its growing integration into the global economy, it is crucial to understand how this technology influences these sectors beyond its application in cryptocurrencies.

The objective is to investigate various perspectives of blockchain, highlighting its potential benefits and the challenges for its implementation and acceptance by governments and companies. The methodology used is bibliographic research, gathering information from platforms such as Google Scholar and Scielo, focusing on "blockchain," "technology," and "business." The research identified a broad panorama, refined to prioritize recent studies and scientific articles, ensuring the information's relevance. The study is structured into six sections. The first introduces the topic and the importance of blockchain. The second explores the origin and evolution of the technology. The third examines its applications in business, such as efficiency, transparency, and security in different sectors. The fourth investigates the impact on job

creation and income, highlighting new career opportunities. The fifth addresses the benefits and challenges of blockchain adoption, including regulation and privacy issues. The final section presents conclusions, emphasizing the opportunities and challenges that blockchain represents for the global economy. Blockchain technology has the potential to significantly transform businesses and the labor market, offering transparency, security, and efficiency. However, its adoption faces challenges that require collaboration between governments, industries, and academics to develop appropriate regulations and standardized practices.

Keywords: Blockchain. Technology. Business.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo aborda o impacto da tecnologia *blockchain* nos negócios, na criação de empregos e na renda tanto individual quanto nacional. A importância desse tema está no fato de que o *blockchain* está se tornando cada vez mais integrado à economia global, sendo usado em muitas áreas além das criptomoedas. Entender como essa tecnologia influencia negócios, empregos e renda são essenciais para indivíduos, empresas e governos em um ambiente de constante transformação (Moura, Brauner & Janissek-Muniz, 2020).

O propósito deste estudo é investigar as diversas perspectivas da tecnologia *blockchain*, analisando sua aplicação nos negócios, na criação de empregos, na renda individual e na economia nacional. O estudo também destaca os benefícios potenciais da tecnologia, assim como os desafios que podem surgir em sua plena implementação e aceitação por parte de governos e empresas.

A tecnologia *blockchain* tem se revelado uma inovação crucial para o cenário econômico atual, com potencial para transformar significativamente os negócios e o mercado de trabalho. Com sua capacidade de oferecer transparência, segurança e eficiência, a *blockchain* está se expandindo além das criptomoedas, impactando setores como financeiro, cadeia de suprimentos e saúde (Zachariadis, Hileman & Scott, 2019).

Entender a aplicação da *blockchain* nos negócios é fundamental para que empresas e investidores possam se beneficiar de suas inovações e otimizar suas operações. A análise do impacto da *blockchain* na criação de empregos e na renda é crucial para avaliar como essa

tecnologia está moldando o mercado de trabalho e contribuindo para o crescimento econômico (Moura, Brauner & Janissek-Muniz, 2020).

Neste trabalho, utilizou-se a metodologia da pesquisa bibliográfica, coletando e analisando as informações relevantes disponíveis nas pesquisas. Segundo Gil (2022), a pesquisa bibliográfica é uma etapa fundamental que oferece uma visão aprofundada do que já foi pesquisado sobre o assunto proposto, permitindo uma visão mais abrangente sobre o tema escolhido.

Esta pesquisa bibliográfica envolveu a busca por referências no Google Acadêmico e Scielo, duas plataformas reconhecidas por sua relevância acadêmica. A pesquisa foi centrada em três palavras-chave principais: "*blockchain*", "tecnologia" e "negócios". Inicialmente, foram realizadas buscas amplas utilizando essas palavras-chave, com o intuito de identificar um panorama abrangente das obras disponíveis nessas áreas. Em seguida, foram aplicados filtros para refinar os resultados, priorizando estudos e artigos científicos que apresentassem uma abordagem teórica consistente, considerando um período de busca nos últimos seis anos para garantir a relevância e atualidade das informações.

Para atingir o objetivo principal, este trabalho está estruturado em seis seções. Na primeira, será apresentada uma introdução, orientando o leitor sobre a composição do trabalho e sua relevância. A segunda seção destaca a origem e evolução da tecnologia *blockchain*. Serão abordados os conceitos básicos, considerando o crescente papel da *blockchain* na economia global e o seu destaque como uma tecnologia revolucionária.

A terceira seção explorará as diversas aplicações da tecnologia *blockchain* no mundo dos negócios. Serão analisados exemplos práticos de como a *blockchain* está sendo utilizada para melhorar a eficiência, transparência e segurança das operações empresariais, mostrando como a *blockchain* pode transformar modelos de negócios tradicionais, criando oportunidades inovadoras.

Na quarta seção será investigado o impacto da *blockchain* na criação de empregos e na renda individual e nacional. Serão discutidas as novas oportunidades de carreira surgidas com a demanda por profissionais especializados em *blockchain*, assim como as mudanças nas competências profissionais exigidas pelo mercado.

A quinta seção abordará os benefícios e desafios associados à adoção da tecnologia *blockchain*. Serão destacados os potenciais pontos críticos para sua plena utilização, como questões de regulamentação, escalabilidade e privacidade. Também serão discutidas as

considerações necessárias para a aceitação institucional da *blockchain* por governos e empresas, incluindo a importância da colaboração entre essas entidades para garantir uma implementação eficaz e segura. Por fim, na sexta e última seção serão apresentadas as conclusões do estudo, ressaltando as oportunidades e os desafios que a *blockchain* representa para a economia global.

A relevância do estudo da *blockchain* é destacada pelo seu crescente papel na economia global. À medida que essa tecnologia se integra cada vez mais aos mercados e governos, compreendê-la torna-se crucial para indivíduos, empresas e instituições. A *blockchain* não apenas redefine as operações tradicionais, mas também abre novas oportunidades de inovação e desenvolvimento em um cenário econômico em constante evolução.

2. ORIGEM E EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN*

A tecnologia *blockchain*, introduzida pela primeira vez em 2008 por Satoshi Nakamoto através da criptomoeda Bitcoin, tem se destacado como uma inovação revolucionária no cenário global. Concebida inicialmente para transações financeiras, a *blockchain* utiliza um algoritmo matemático para identificar e validar transações virtuais por meio de uma sequência de blocos. Após a realização de uma operação, a cadeia de blocos resultante é registrada e replicada em múltiplos servidores que validam o registro por consenso, garantindo a segurança e a integridade dos dados (Moura, Brauner & Janissek-Muniz, 2020).

Essa tecnologia baseia-se no conceito de "*Distributed Ledger Technology*" (DLT), ou livro-razão distribuído. Segundo (Zachariadis, Hileman & Scott, 2019), a *blockchain* é uma base de dados distribuída que permite o registro seguro e imutável de transações, facilitando a inovação em diversos setores. As características de confiabilidade, imutabilidade, autenticidade e auditabilidade, proporcionadas pela geração de dados criptografados que passam por uma rede de validação descentralizada, têm impulsionado uma ampla gama de pesquisas propondo sua aplicação em vários campos do conhecimento (Moura, Brauner & Janissek-Muniz, 2020).

A popularidade da *blockchain* aumentou com sua aplicação em transações financeiras globais. Cada transação financeira gera uma chave criptografada que passa por vários servidores para validação por meio do processo de mineração. Esse processo resolve o valor do novo algoritmo criado quando uma nova transação é iniciada, resultando na criação de um

código criptografado único, inviolável, imutável e resiliente. Isso possibilita uma transação financeira segura, rápida e sem intermediários (Zachariadis, Hileman & Scott, 2019).

Além de proporcionar segurança, a *blockchain* também promove a transparência ao manter uma cópia pública registrada em cada servidor que participa da operação, garantindo a autenticidade da transação. Adicionalmente, a eliminação de intermediários através das transações entre pares agiliza diversos tipos de processos, tornando-os mais eficientes e econômicos (Zachariadis, Hileman & Scott, 2019).

3. APLICAÇÕES DA *BLOCKCHAIN* NOS NEGÓCIOS

A tecnologia *blockchain* tem se mostrado uma ferramenta revolucionária em diversos setores empresariais, oferecendo uma gama de aplicações que estão transformando a maneira como os negócios operam. Suas características de transparência, segurança e descentralização estão sendo exploradas para aprimorar processos e criar oportunidades de negócios.

No setor financeiro, a *blockchain* permite a execução de transações rápidas e seguras, sem a necessidade de intermediários. Isso não só reduz os custos de transação, mas também aumenta a eficiência operacional (Fornasier, 2021). A utilização de contratos inteligentes, por exemplo, automatiza a execução de contratos quando as condições predeterminadas são atendidas, minimizando a possibilidade de fraudes e erros humanos (Giesel e Nobre, 2021).

A *blockchain* também está sendo amplamente adotada na cadeia de suprimentos. Sua capacidade de rastrear produtos desde a origem até o destino permite uma maior transparência e controle, o que é crucial para garantir a autenticidade e a qualidade dos produtos. Empresas como a IBM têm implementado soluções de *blockchain* para monitorar a movimentação de bens, reduzindo o risco de contrabando e falsificações (Fornasier, 2021).

No campo da saúde, a *blockchain* oferece soluções para o gerenciamento de registros médicos, proporcionando um acesso seguro e descentralizado a informações sensíveis. Isso facilita o compartilhamento de dados entre profissionais de saúde, garantindo a integridade e a privacidade dos registros dos pacientes. Além disso, a *blockchain* pode ser utilizada para verificar a autenticidade de medicamentos, ajudando a combater a venda de produtos falsificados (Fornasier, 2021).

A indústria de seguros também está se beneficiando da tecnologia *blockchain*. Os contratos inteligentes são utilizados para automatizar o processamento de sinistros,

acelerando o pagamento de indenizações e reduzindo o custo administrativo (Almada e Costa, 2023). Esta automação não só melhora a experiência do cliente, mas também aumenta a eficiência das operações das seguradoras. Por fim, a *blockchain* tem potencial para transformar a governança corporativa. A tecnologia pode ser utilizada para registrar votos em assembleias de acionistas de forma segura e transparente, garantindo a integridade dos processos de tomada de decisão (Almada e Costa, 2023). Isso pode aumentar a confiança dos investidores e melhorar a responsabilidade das empresas perante seus *stakeholders*.

A *blockchain* está sendo adotada em uma ampla variedade de setores empresariais, desde o financeiro até a saúde, oferecendo soluções inovadoras que melhoram a eficiência, reduzem custos e aumentam a segurança. À medida que mais empresas reconhecem o potencial dessa tecnologia, a *blockchain* continuará a desempenhar um papel crucial na transformação dos negócios.

4. IMPACTO DA *BLOCKCHAIN* NA GERAÇÃO DE EMPREGOS E NA RENDA

A tecnologia *blockchain*, de acordo com Giesel e Nobre (2021) tem se destacado por sua capacidade de transformar diversos setores além do financeiro, afetando significativamente a geração de empregos e a renda. A crescente adoção dessa tecnologia está criando uma demanda robusta por profissionais qualificados em *blockchain*, resultando em novas oportunidades de carreira e impactando positivamente a renda individual.

A adoção de *blockchain* em diversos setores está impulsionando a criação de empregos especializados. A demanda por desenvolvedores de *blockchain* e especialistas em segurança cibernética tem aumentado, refletindo a necessidade de profissionais que possam implementar e gerenciar sistemas baseados nessa tecnologia. Além dos desenvolvedores, há uma crescente demanda por consultores de *blockchain* e analistas de dados, que são essenciais para suportar as operações de *blockchain* nas empresas (Giesel e Nobre, 2021).

Além disso, a capacidade da *blockchain* de eliminar intermediários e aumentar a eficiência estão revolucionando indústrias inteiras. No setor financeiro, por exemplo, a *blockchain* permite transações diretas entre partes, reduzindo custos e aumentando a rapidez das operações (Almada e Costa, 2023). Essa eficiência pode resultar em economias significativas para as empresas, que podem ser reinvestidas em salários e expansão, contribuindo para a melhoria da renda individual dos trabalhadores.

O impacto da *blockchain* na renda não se limita ao setor privado. Governos também estão explorando essa tecnologia para aumentar a transparência e a eficiência em suas operações, o que pode levar a economias substanciais e a uma melhor alocação de recursos (Almada e Costa, 2023). Essas economias podem ser direcionadas para melhorar os serviços públicos e aumentar os investimentos em desenvolvimento econômico, resultando em aumentos na renda nacional.

No entanto, a adoção da *blockchain* não está isenta de desafios. A regulamentação insuficiente e a falta de padronização ainda representam obstáculos significativos para sua integração plena nas operações empresariais e governamentais (Giesel e Nobre, 2021). Superar esses desafios exigirá uma colaboração estreita entre governos, indústrias e acadêmicos para desenvolver regulamentações adequadas e práticas padronizadas.

Em suma, a tecnologia *blockchain* está moldando um novo panorama para a geração de empregos e a renda. Sua capacidade de aumentar a eficiência, reduzir custos e eliminar intermediários está criando oportunidades de carreira e impactando positivamente a renda individual e nacional. Apesar dos desafios, o potencial transformador da *blockchain* continua a oferecer promessas significativas para o futuro econômico.

5. BENEFÍCIOS E DESAFIOS PARA A ACEITAÇÃO INSTITUCIONAL DA *BLOCKCHAIN*

A tecnologia *blockchain* apresenta um vasto leque de benefícios, desafios e considerações que precisam ser abordado para sua plena aceitação institucional. Ao oferecer transparência, segurança e descentralização, a *blockchain* tem o potencial de transformar diversas indústrias e processos governamentais, mas também enfrenta obstáculos que devem ser superados (Fornasier, 2021).

A *blockchain* proporciona inúmeros benefícios para instituições e empresas. Um dos principais é a transparência. A natureza descentralizada da *blockchain* garante que todas as transações sejam visíveis e verificáveis por todos os participantes da rede, reduzindo assim a possibilidade de fraudes e aumentando a confiança (Giesel e Nobre, 2021). Essa transparência é particularmente valiosa em setores como o financeiro e a cadeia de suprimentos, onde a integridade das transações é crucial.

Além disso, a segurança é outro benefício significativo da *blockchain*. Os dados armazenados em uma *blockchain* são criptografados e distribuídos por uma rede de nós, o que torna extremamente difícil para hackers alterar qualquer informação sem serem

detectados (Fornasier, 2021). Esta segurança robusta é essencial para proteger informações sensíveis e transações de alto valor.

A *blockchain* também melhora a eficiência operacional. A automação de processos por meio de contratos inteligentes pode reduzir o tempo e os custos associados a transações e acordos contratuais (Fornasier, 2021). Isso é especialmente relevante para indústrias que dependem de processos complexos e demorados, como a de seguros e a imobiliária.

Apesar dos inúmeros benefícios, a aceitação institucional da *blockchain* enfrenta vários desafios. Um dos principais é a regulamentação. A ausência de um quadro regulamentar claro para a *blockchain* cria incertezas para empresas e governos, dificultando a adoção generalizada (Fornasier, 2021). A criação de regulamentações específicas que atendam às particularidades da *blockchain* é necessária para proporcionar segurança jurídica e incentivar a inovação.

Outro desafio é a escalabilidade. As redes *blockchain*, especialmente aquelas baseadas em provas de trabalho, enfrentam dificuldades para lidar com um grande volume de transações de forma eficiente (Giesel e Nobre, 2021). Desenvolver soluções que aumentem a capacidade de processamento sem comprometer a segurança é crucial para a adoção em larga escala.

A interoperabilidade entre diferentes plataformas *blockchain* também é uma preocupação. A falta de padrões comuns pode limitar a capacidade de diferentes sistemas *blockchain* de se comunicarem e trabalharem juntos, o que é vital para maximizar os benefícios da tecnologia (Fornasier, 2021).

Para que a *blockchain* seja amplamente aceita por instituições, é essencial considerar alguns fatores-chave. A educação e conscientização sobre a tecnologia *blockchain* são fundamentais. Muitas instituições ainda têm uma compreensão limitada da *blockchain* e de seu potencial. Promover a educação e a formação pode ajudar a superar essa barreira e incentivar a adoção (Fornasier, 2021).

A colaboração entre setores público e privado é outra consideração importante. Parcerias entre governos, empresas e organizações de padrões podem ajudar a desenvolver regulamentações eficazes e promover a interoperabilidade entre diferentes sistemas *blockchain*.

Finalmente, a pesquisa e desenvolvimento contínuos são vitais para superar os desafios técnicos e explorar novas aplicações da *blockchain*. Investir em inovação pode levar

a soluções mais eficientes e seguras, aumentando a viabilidade da tecnologia para uso institucional (Giesel e Nobre, 2021).

Embora a *blockchain* ofereça benefícios significativos em termos de transparência, segurança e eficiência, sua aceitação institucional depende de superar desafios regulatórios, de escalabilidade e de interoperabilidade. Considerações sobre educação, colaboração e inovação contínua são essenciais para aproveitar todo o potencial desta tecnologia transformadora.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia *blockchain* tem se consolidado como uma inovação transformadora com o potencial de impactar profundamente os negócios, a criação de empregos e a renda em diversos níveis. Seus benefícios, como transparência, segurança e eficiência, destacam-se como fatores cruciais para a melhoria das operações institucionais e comerciais. No entanto, a aceitação institucional da *blockchain* enfrenta desafios significativos, incluindo a falta de regulamentação clara, questões de escalabilidade e interoperabilidade entre diferentes plataformas.

O sucesso na implementação da *blockchain* em larga escala requer a superação desses desafios e a adoção de práticas colaborativas entre setores público e privado. Investir em educação e conscientização sobre a tecnologia, além de promover a pesquisa e o desenvolvimento contínuos, é essencial para maximizar o impacto positivo da *blockchain*. A capacidade de inovar e adaptar-se às novas demandas e oportunidades será decisiva para a integração plena da *blockchain* nas instituições e no mercado global, garantindo que seus benefícios sejam amplamente realizados e seus desafios adequadamente enfrentados.

REFERÊNCIAS

Almada, P. E. R., & Costa, E. S. (2023). Controle e vigilância no capitalismo digital: Uma análise da tecnologia *blockchain* e sua implementação empresarial. *Cadernos EBAPE.BR*, 21(1), e2022-0020. <https://doi.org/10.1590/1679-395120220020>

Fornasier, M. de O. (2021). A democracia e a tecnologia *blockchain*. *Sequência* (Florianópolis), 42(89), e71337. <https://doi.org/10.5007/2177-7055.2021.e71337>

Giesel, H. D., & Nobre, F. S. M. (2021). *Implications of blockchain and transparency for business sustainability: An integrative review*. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 22(6), eRAMD210033. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMD210033>

Gil, A. C. (2022). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.

Moura, L. M. F. de, Brauner, D. F., & Janissek-Muniz, R. (2020). *Blockchain e a perspectiva tecnológica para a administração pública: Uma revisão sistemática*. *Revista de Administração Contemporânea*, 24(3), 259–274. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2020190171>

Zachariadis, M., Hileman, G., & Scott, S. V. (2019). *Governance and control in distributed ledgers: Understanding the challenges facing blockchain technology in financial services*. *Information and Organization*, 29(2), 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2019.03.001>.

CAPÍTULO IV

INOVAÇÃO E O SETOR PÚBLICO: REFLEXÕES SOBRE A LITERATURA NA ÁREA

INNOVATION AND THE PUBLIC SECTOR: REFLECTIONS ON THE LITERATURE IN THE AREA

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-4

Fábio Garcia dos Santos¹
Geoffroy Roger Pointer Malpass²
Ana Claudia Granato Malpass²

¹ Mestre em Inovação Tecnológica. Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica - UFTM

² Docentes do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica – UFTM

RESUMO

Esse trabalho faz reflexões sobre a inovação e sua aplicação no setor público. Para tanto destaca-se a inovação tecnológica sob a perspectiva das ciências econômicas, seguida das ondas de inovação que ocorreram na civilização humana ao longo de sua existência, utilizando-se da história econômica. Identificou-se a variável tecnologia, e inovação, dentro dos modelos de crescimento econômico mais relevantes para teoria econômica. Levantou-se, dentro desta teoria, os principais movimentos de inovação que ocorreram nas organizações ao longo do século passado aos dias atuais. Para o setor público, a pesquisa fez um levantamento da definição de Inovação no Setor Público - ISP, fazendo uma relação teórica, com a perspectiva da administração pública, das ciências econômicas e seus impactos na economia e sociedade. Por fim, são descritas as tipologias de ISP e suas possibilidades, que leva o presente trabalho a conceituar a inovação em processos e sua classificação.

Palavras-chave: Inovação tecnológica. Economia. Inovação Tecnológica no Setor Público.

ABSTRACT

This work reflects on technological innovation and its application in the public sector. To this end, technological innovation stands out from the perspective of economic sciences, followed by the waves of innovation that have occurred in human civilization throughout its existence, using economic history. The variable technology and innovation are identified within the most relevant economic growth models for economic theory. Within this theory, the main innovation movements that occurred in organizations throughout the last century to the present day are identified. For the public sector, the study surveyed the definition of Innovation in the Public Sector - ISP, making a theoretical relationship, with the perspective of public administration, economic sciences and their impacts on the economy and society. Finally, the ISP typologies and their possibilities are described, which leads this work to conceptualize process innovation and its classification.

Keywords: Technological innovation. Economy. Technological Innovation in the Public Sector.

1. INTRODUÇÃO

É comum, nos dias atuais, encontrar com pessoas, em qualquer tipo de lugar, conectadas à celulares, notebooks ou outros equipamentos que incorporam tecnologia da informação e comunicação. As informações atravessam o planeta em segundos devido a mecanismos cada vez mais eficientes e inovadores de comunicação. Assim como qualquer ciência social, a econômica evolui conforme o comportamento das pessoas, trabalhadores e/ou consumidores, se modifica, afetando a oferta e demanda agregada de uma economia, com impacto no crescimento e desenvolvimento econômico.

Para compreensão do impacto da inovação nas sociedades, inicialmente esse trabalho traz uma descrição da inovação tecnológica ao longo da civilização humana, sob um aspecto histórico. Após esta contextualização, o trabalho faz uma revisão integrativa de literatura referente ao papel da tecnologia, e sua inovação, nos modelos de crescimento e desenvolvimento econômico contidos na teoria econômica. Em seguida é feita uma avaliação empírica da aplicação da inovação nas organizações, à luz da teoria da administração. O desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) têm transformado, nas últimas décadas, as relações de trabalho, demandando novos desafios para a gestão pública. Para o setor público, foi levantado, junto à teoria da administração pública, o conceito e definição de Inovação no Setor Público (ISP), assim como suas tipologias e aplicações, assim como sua relação com as teorias econômica e organizacional. Identificando a inovação em processo como a mais comum atualmente, os tópicos seguintes dedicam-se a analisar o conceito deste tipo de inovação, classificadas em inovação de gestão e tecnológica, as quais, quando ocorrem concomitantemente, resultam em maior produtividade, eficiência e serviços de qualidade para o público.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho utilizou-se a pesquisa bibliográfica como metodologia, pois essa envolve o estudo de trabalhos previamente publicados que propiciam o pesquisador aprimorar o conhecimento sobre uma determinada temática. Livros, artigos científicos e outros tipos de fontes que já tenham sido publicadas, são os instrumentos utilizados na pesquisa bibliográfica (Guerra, 2023). Desta forma, foi feito um criterioso levantamento bibliográfico em diferentes bases de dados sobre os temas: como se deu a evolução da inovação ao longo da formação da civilização humana aos dias atuais; os

principais modelos de crescimento e desenvolvimento econômico para uma contextualização teórica da definição, conceito e classificação da inovação tecnológica; o impacto da inovação nas organizações, assim como definições, conceitos e classificações de Inovação no Setor Público (ISP) na perspectiva da teoria econômica e da administração pública.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: UMA ABORDAGEM HISTORICISTA

A civilização humana vem se transformando ao longo da história no que tange suas relações políticas, econômicas, culturais, dentre outras. A inovação e tecnologia têm papel fundamental neste processo, marcando diversos momentos de mudanças sociais. Numa visão historicista, as inovações radicais podem ser divididas em três grandes ondas revolucionárias que marcam a cronologia da evolução tecnológica, conforme Toffler (1980), que se diferem conforme o tipo de riqueza gerada.

A primeira onda é denominada de “Revolução Agrícola”, pois teve início quando os nômades humanos começaram a utilizar a produção em massa de suprimentos agrícolas para a subsistência de suas tribos, vilas e cidades, por volta de 8.000a.C., na qual começaram a se juntar para ter ganhos efetivos de produtividade e garantir o bem-estar alimentar coletivo. A “Revolução Industrial” foi a segunda onda de inovação tecnológica, quando a inovação se focou na transformação de produtos brutos, naturais, em processados por máquinas e equipamentos da invenção humana, perdurando até início dos anos 70 do século passado. Na sequência teve início a “Revolução da Informação” a qual produz riqueza através do conhecimento com as novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). São incrementos tecnológicos desta onda: computação, *internet*, inteligência artificial, e outros. Como pondera Porém (2015):

Na contemporaneidade, a chamada era do conhecimento imprime ao mundo novos significados socioculturais em consequência da transformação tecnológica. Esta transformação ocorreu especialmente devido à penetrabilidade das novas tecnologias da informação e da comunicação (TIC's) na vida das pessoas, no mundo, nas organizações, enfim, em todas as esferas da vida humana e social, as TIC's estão presentes dando uma nova complexidade à economia, à sociedade e sua cultura.

Importante salientar que durante as ondas ocorreram diversas inovações incrementais que marcaram mudanças significativas na sociedade humana, sejam institucionais, econômicas, organizacionais, políticas, culturais, religiosas, dentre outras, em diferentes

tempos, formas e locais. Ressalta-se ainda que, principalmente as duas primeiras ondas, são observadas pelos autores citados por uma perspectiva eurocêntrica (Toffler, 1980; Porém, 2015).

As inovações no oriente, principalmente relativas às duas primeiras ondas, ocorreram de formas distintas e em períodos diferentes em relação ao Ocidente. Segundo Romeiro (2021), a revolução industrial é um tema recorrente na história econômica e é predominada por autores com visões eurocêntricas, porém esse traz novas perspectivas, principalmente orientais, de como a revolução industrial, ou a quase revolução, se desenvolveu em outras regiões, como China e Índia, sob diferentes tipos de inovações. Para o autor “A civilização chinesa foi uma das que mais perto chegou de uma revolução industrial, seguindo uma trajetória inteiramente dependente de suas peculiares características civilizacionais” (Romeiro, 2021).

Retomando o modelo de Toffler (1980), a terceira onda, regida pelo conhecimento, tem proporcionado a difusão da inovação tecnológica numa proporção nunca antes vista, mudando a estrutura e conjuntura socioeconômica do mundo com a descentralização do processo de industrialização e inovação tecnológica desde os anos 1970:

[...] hoje, o que temos é a substituição da força física pelo conhecimento. O conhecimento é o substituto último de todas as formas de produção [...]. O conhecimento mudou a natureza das propriedades, das formas de dinheiro, dos sistemas de pagamentos. Mudou a natureza do capitalismo e do capital. É, sem dúvida, a revolução mais profunda desde a Revolução Industrial. (Toffler, 2003 apud Porém, 2015).

Processos significativos de industrialização surgiram na América Latina, principalmente Brasil e México, e na Ásia, com Japão e os Tigres Asiáticos (Coréia do sul, Taiwan, Cingapura e Hon Kong). Após o falecimento de Mao Tsé-Tung a China inicia um rápido processo de desenvolvimento industrial e tecnológico, seguido pela Índia e vários outros países como, mais recentemente, o Vietnã (Romeiro, 2021).

Assim, o planeta vivencia a onda do conhecimento com grande intensidade, incorrendo em inovações tecnológicas que aceleram o desenvolvimento da humanidade, sociedades, economias, com o objetivo de saciar as necessidades humanas ilimitadas diante de recursos cada vez mais escassos.

3.2. A TEORIA ECONÔMICA E A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Economistas, de diversos lugares e em diferentes tempos da humanidade têm por objeto de estudo a tecnologia e a inovação da mesma, impactando seja na oferta, seja na demanda agregada das economias, com impacto direto no bem-estar dos trabalhadores/consumidores. Os homens buscam satisfazer suas necessidades ilimitadas incessantemente diante dos recursos escassos, essa é a definição em economia formulada por Adam Smith em sua obra “A causa das riquezas das Nações” de 1776. Desde a publicação nada mudou em relação a este dilema a ser resolvido pela ciência econômica, ainda mais diante de um crescimento populacional significativo.

Para que os consumidores em massa pudessem existir na contemporaneidade em suas economias desenvolvidas, emergentes e em desenvolvimento, muitas tecnologias foram inventadas e disseminadas, sendo que algumas delas, constituíram as grandes revoluções que marcaram mudanças significativas no modo de viver de todo planeta, ou seja, momentos em que ocorreram as inovações tecnológicas. A tecnologia, seja, nos processos de governança, política e administrativa, seja no desenvolvimento de novos produtos, em toda a cadeia, está presente na vida humana desde os primórdios civilizatórios. Para atender essas necessidades ilimitadas em frente a cada vez maior escassez dos recursos, a tecnologia surge como um fator multiplicativo frente ao capital e trabalho, proporcionando um crescimento econômico sustentável ao longo do tempo.

Em um trabalho publicado em 1956, o economista Robert Solow (Solow, 1956) equacionou e demonstrou, de forma exógena, a existência deste fator multiplicativo diretamente associado à tecnologia, ou seja, quanto maior a taxa de evolução do fator tecnológico, maior o crescimento do capital e trabalho. Foi uma resposta ao modelo de crescimento econômico desenvolvido pelos economistas Harrod (1939) e Domar (1946) nos anos 30 e 40 do século XX. Este modelo desenvolvido por Solow (1956) explica o porquê das indústrias do pós-segunda guerra mundial atingirem níveis máximos de utilização dos fatores de produção, capital e trabalho, sem ocasionar os rendimentos decrescentes presentes nos modelos econômicos clássicos. No entanto o modelo é limitado já que apenas identifica, econometricamente, este fator multiplicativo de forma exógena e não explica as causas de sua existência. Para Silva (2020) a “política econômica possui efeito apenas temporário sobre a taxa de crescimento, não afetando-a em longo prazo. A taxa de crescimento do produto é

igual a taxa de crescimento do progresso tecnológico.” conforme o modelo de Solow (1956), em longo prazo.

Na linha do pensamento econômico, muitos outros economistas passaram a estudar sobre a inovação tecnológica, identificando causas endógenas de diversas naturezas que vão além da pesquisa e desenvolvimento (P&D) restritos dentro das grandes corporações, como identificou Schumpeter (1982). O desenvolvimento tecnológico está diretamente associado ao crescimento econômico, seja em escala micro, nas organizações e estruturas de mercado, seja na escala macro, nas fundamentações de políticas econômicas e sociais de curto, médio e longo prazo. Endogenamente, o modelo de Romer (1990) é ideal para explicar como a inovação tecnológica é resultado de um planejamento de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Para Silva (2020, p.40):

(...) observa-se que destinar mais capital humano à pesquisa resulta em uma maior taxa de produção do conhecimento. Do mesmo modo, quanto maior o estoque de conhecimento, maior será a produtividade do setor de pesquisa, o que resulta em maior facilidade de gerar novas ideias.

Assim, este modelo explicita que o investimento em pesquisa e desenvolvimento nas organizações, gerando produtividade de novas ideias, implica em maior sustentabilidade no crescimento econômico. No entanto, a taxa de produtividade de novas ideias neste modelo é linear, ou seja, constante, limitando a influência deste fator no crescimento econômico no longo prazo, já que, segundo Silva (2020) “evidências empíricas mostram que na maioria das economias da OCDE ocorreu o aumento do número de pesquisadores, mas o impacto foi de taxas constantes de produtividade.”

O modelo de Jones (1995) confronta o modelo anterior, diante das evidências empíricas, incorporando o entendimento de rendimentos decrescentes de escala de geração de novas ideias para explicar a constante no modelo anterior, o qual, agora, pesquisa e desenvolvimento é apenas um fator linear no crescimento econômico. Segundo Jones:

... chamou de garimpo de ideias, ou seja, as ideias mais óbvias são descobertas primeiro, de modo que quanto maior o estoque de conhecimento, menor a probabilidade de um pesquisador descobrir uma ideia. Em outras palavras, a produtividade marginal de hA^1 agora apresenta retornos decrescentes de escala (apud Silva, 2020, p. 44).

¹ hA representa o fator tecnológico na equação de oferta agregada de uma economia. Este fator atua como um multiplicador sobre o capital e trabalho, influenciando diretamente no crescimento econômico (Solow, 1956).

Dessa forma, este modelo aponta que apenas o investimento em pesquisa e desenvolvimento não é suficiente, sendo decisivo para o crescimento econômico o aumento da taxa de crescimento do total de capital humano relacionadas às pesquisas e desenvolvimentos acima referidos. À medida que teoria econômica se desenvolve, diante de novas realidades empíricas, novas explicações e modelos vão surgindo para explicar como se dá o aumento da produtividade em inovação tecnológica e como este processo influencia o crescimento econômico.

As análises anteriores tiveram uma abordagem horizontal sobre a inovação tecnológica, diferente da identificação vertical realizada por Schumpeter (1982), cujos alicerces teóricos foram incorporados à evolução da ciência econômica. Nas ciências econômicas estes modelos foram as comprovações econométricas da existência da partícula identificada por Schumpeter: a inovação tecnológica. Este autor descreve a inovação tecnológica como um processo dividido em três fases: a invenção, a inovação e difusão. Para ele a inovação tecnológica causa rupturas radicais no sistema econômico e, por conseguinte, em toda sociedade, provocando um efeito cascata de inovações incrementais, em todos os nichos sociais, ocasionando uma verdadeira revolução civilizatória.

Tratando-se do processo de inovação, o mesmo autor dividiu-o em três fases: invenção (a ideia potencialmente aberta para a exploração comercial), a inovação (exploração comercial) e difusão (propagação de novos produtos e processos pelo mercado). Além disso, a abordagem schumpeteriana dá ênfase as grandes inovações radicais que envolvem mudanças no sistema econômico, já as inovações incrementais são melhorias das inovações radicais (Santos, Fazion & Meroe, 2011).

Após a invenção, a difusão do conhecimento é determinante para a inovação, como a capacidade de acesso e absorção de novas tecnologias em um determinado nicho mercadológico, fazendo com que esta invenção se torne realmente uma inovação. A inovação, ainda na visão de Schumpeter (1982), ocorre por uma demanda economicista por lucros das empresas privadas, as quais quanto maior o porte, maior o potencial de inovação. O autor indicou cinco tipos de inovações, as quais podem incorrem em: novos produtos, novos modelos de produção, novos nichos de mercado, novas fontes de recursos primários e a formação de nova estrutura de mercado derivada de inovação em uma indústria.

Coube a autores shumpeterianos trazerem esta abordagem vertical para complementar as teorias horizontais supracitadas, incluindo uma escala de qualidade aos produtos, podendo ser abaixo da média, tendendo a se tornarem obsoletas, ou acima da

média, produtos que incubam novas descobertas, como uma escada. Um produto novo parte de um outro inovado anteriormente, como ocorre com a atualização das versões de softwares e aplicativos.

Segerstrom et al (1990), constroem um modelo dinâmico de equilíbrio geral de comércio Norte-Sul que combina a hipótese de ciclo de vida do produto com a ideia de destruição criativa de Schumpeter (1942). Neste modelo existe uma busca contínua por novos produtos por parte das empresas, cuja probabilidade de descobrir um novo produto é dada pela quantidade de recursos dedicados ao setor de pesquisa por parte das empresas (Silva, 2020, p.42).

Para garantir o aumento de capital humano envolvido em P&D, é necessária, inicialmente, a formação deste para capacitá-lo de forma a garantir a formação de novas ideias com produtividade ascendente. A inovação tecnológica, na teoria econômica, analisada pela ótica da oferta agregada, como fizeram a maioria dos autores de grande relevância para as ciências econômicas, até aqui citados, ainda assim não explica os rendimentos de escala que muitas organizações de inovação contemporânea obtêm. Apenas os investimentos em P&D não são suficientes e, ainda assim, podem representar perdas para aqueles que este investimento passa a ser um custo oneroso. Percebe-se que, mesmo vertical como horizontalmente, a inovação tecnológica aparece nos trabalhos supracitados de forma fechada, dependendo apenas das organizações e suas decisões de investimento no setor, considerando os grandes riscos em mercados de grande inovação, normalmente de estruturas oligopolistas.

Burger e Fiate (2020) elaboraram um ensaio teórico que aborda a inovação aberta na perspectiva das relações de governança da propriedade intelectual, apontando inicialmente os motivos para a expansão deste modelo de inovação:

a razão da proeminência deste processo se deve, principalmente à existência de ciclos de inovação mais curtos, custos crescentes de pesquisa e desenvolvimento industrial e escassez de recursos. Somado a isso, a incerteza que permeia o ambiente externo à organização, aliado às complexidades inerentes ao processo de inovação e à necessidade de recombinação do conhecimento, levaram as empresas a reduzir a permeabilidade das suas fronteiras e, posteriormente a interagir com seu ambiente e partes interessadas de forma mais aberta (Burger & Fiate, 2020).

Neste contexto surge a necessidade do entendimento do movimento de inovação que acontece não apenas dentro das empresas ou instituições, mas que ocorrem através do empreendedorismo fomentado na sociedade através das instituições de ensino, dos núcleos de inovação tecnológica (NIT) e até mesmo do Estado, que passa a ter um papel crucial no

desenvolvimento de novas tecnologias fora das organizações: a inovação aberta. Este tipo de inovação pode ser entendido “como a antítese do modelo de integração vertical no qual as atividades de inovação interna levam a produtos e serviços desenvolvidos internamente e distribuídos pela empresa” (Chesbrough, 2012 apud Burger & Fiate, 2020).

A inovação aberta vem se tornando cada vez mais relevante para o processo de P&D e inovação, levantando questões sobre como conduzir uma gestão assertiva deste modelo de inovação, cada vez mais relevante no processo de desenvolvimento tecnológico e econômico. Trata-se de um processo o qual as empresas buscam fora de seu ambiente, como universidades e NIT, inovação tecnológica para seus produtos, processo e modelos organizacionais (Burger & Fiate, 2020).

Porém, Burger & Fiate (2020) apontam para uma tensão entre a produção e o compartilhamento de conhecimento derivados da inovação aberta, o qual ocorre da dependência da eficácia da estrutura de governança, dada uma racionalidade limitada e oportunismo dos indivíduos que fazem parte do processo. Assim, aparece nesta perspectiva, o gargalo da inovação aberta: a gestão do compartilhamento do conhecimento. A governança deste conhecimento é crucial para o desenvolvimento da inovação aberta, para que as organizações não se apropriem, de forma economicista, das invenções ou aperfeiçoamento de produtos e serviços desenvolvidos por Universidades, NIT e outros agentes de inovação, assim como proteção ao próprio inovador, com o objetivo de garantir um ciclo virtuoso de geração de novos inovadores dentro destas instituições de fomento ao conhecimento.

Os estudos a respeito do compartilhamento de conhecimento, agora analisam as melhores formas de fazê-lo, utilizando uma abordagem realista de que inerente a este processo existem prós e contras para os envolvidos. Os desdobramentos disso ocorrem na percepção de novos modelos de governança e na discussão de mecanismos de gestão da propriedade intelectual (Burger & Fiate, 2020. p.231).

A governança do conhecimento, através da gestão da propriedade intelectual, gerada nas instituições, tem papel fundamental na garantia do processo de inovação tecnológica, superando barreiras psicológicas da desconfiança e da apropriação indevida, garantindo segurança ao inovador. Destaca-se a importância do Estado para legislar e executar, além de julgar, as relações que envolvem o inovador e as organizações interessadas na nova tecnologia, principalmente entre entes públicos e privados.

Evidencia-se, então, a necessidade de explorar esta temática a partir da perspectiva de relacionamento entre universidades, indivíduos, instituições públicas e como

estes podem promover o desenvolvimento de inovação em parceria com empresas privadas resguardando a PI por meio de um modelo de governança adequado (Burger & Fiate, 2020, p.231).

Assim como qualquer ciência, permeada pela inovação, as econômicas passam por intenso processo de análise empírica carregada de axiomas. À medida que a economia se desenvolve, estes axiomas são refutados e novos modelos econômicos surgem para elucidar teoricamente os fatos socioeconômicos. O fator tecnológico foi objeto de diferentes momentos da evolução da teoria econômica, desde a intuição do mesmo até a identificação econométrica, exógena e endógena, assim como os desdobramentos para garantir o processo de inovação, já que este é o fator que converge com os economistas de diferentes tempos: a inovação tecnológica está diretamente relacionada a produtividade do trabalho e capital, sendo decisiva para um crescimento econômico sustentado em longo prazo.

Dessa forma, é importante descrever como se deu o processo de inovação tecnológica dentro das organizações, com o auxílio da teoria da administração.

3.3. INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL

Como pôde ser observado nos tópicos anteriores, a inovação tecnológica, teoricamente, é resultado dos acontecimentos empíricos, da história da civilização humana. Para melhor entender a relação entre os conceitos de inovação tecnológica e o mundo real, neste tópico é apresentada uma abordagem de como essa evolução tecnológica, e axiomática, se deu sob a perspectiva da teoria da administração.

O conceito de espaços de trabalho vem evoluindo concomitante com a sociedade no contexto da inovação tecnológica. As inovações no setor de trabalho demandam cada vez mais espaços adequados para os trabalhadores exercerem suas funções com a maior produtividade possível. Da revolução industrial, em 1800, passando pelo sistema taylorista a partir de 1890 até chegar nos espaços de coworking, houve relevantes mudanças nas relações sociais, comunicação, relações de trabalho, técnicas de trabalho entre muitas outras alterações que fizeram os espaços laborais também se transformarem em seus conceitos (Ribeiro, 2015).

Até 1890 não havia um desenho de sistema produtivo, nem leis trabalhistas, fazendo que as organizações do período produzissem de forma caótica, com entendimento de absorver ao máximo a força física humana na utilização das máquinas de manufatura que surgiam. O sistema criado do Frederik Taylor revolucionou as formas de trabalhar e produzir

diante das transformações sociais iminente no século passado. Taylor criou um sistema de trabalho baseado na divisão de tarefas, com separação espacial dos trabalhadores, rígido e padronizado, com rotinas operacionais organizadas em para maximizar a produção. O trabalho tinha regras e era padronizado em sua execução (Ribeiro, 2015).

Essas regras padrões seriam obtidas pela melhor equação possível entre tempo e movimento. Para Taylor a garantia da eficiência era papel fundamental da gerência. Assim, criava-se métodos padronizados de execução que deveriam otimizar a relação entre tempo e movimento (Ribeiro, 2015, p. 66).

Desta forma, a ideologia taylorista foi um grande sucesso e se espalhou pelo mundo, pois significava redução de custos com melhor aproveitamento físico dos trabalhadores: significava o controle do trabalho. Porém cabe destacar que este sistema segregava as pessoas que permaneciam inertes às suas rotinas operacionais, na maioria das vezes separadas fisicamente por departamentos e dificultando a comunicação e iniciativas criativas (Ribeiro, 2015).

O fordismo, modelo produtivo de Henry Ford, é conhecido por introduzir a esteira rolante nas fábricas e proporcionar um ganho de tempo significativo para os padrões do início do século passado. Agora a gestão tinha o controle não só do trabalho, mas também do processo de trabalho (Ribeiro, 2015). De acordo com Ribeiro (2015, p.66):

A constituição desse novo tipo de trabalhador e desse novo tipo de homem, que Gramsci (1976) vai chamar de operário-massa e desse novo modo de vida que acompanha as mudanças no padrão de produção, que Gramsci (1976) vai chamar de americanismo, são necessários para a adequação do trabalhador ao novo ritmo de trabalho e a sua extrema racionalização.

Porém são pouco conhecidas as consequências do fordismo que vão além da esteira. Segundo Harvey (1992) apud Ribeiro (2015) a “produção de massa significava consumo de massa, um novo sistema de reprodução da força de trabalho, uma nova política de controle e gerência da força de trabalho, uma nova estética e uma nova psicologia (...)”. Assim os salários ganharam destaque neste contexto de consumo de massa e leis e normas trabalhistas foram criadas diante da diversidade técnica na oferta de trabalho, exigindo mais especializações e qualificações para cada nicho operacional. De acordo com Ribeiro (2015, p.69):

Muitos trabalhadores, inicialmente, não aceitaram essa forma de controle e gerência do trabalho. Foi, então, necessário implementar medidas para conquistar a adesão da classe trabalhadora e uma das medidas principais, implementadas por Ford, foi a elevação dos salários.

Diante, ainda, da segregação entre os trabalhadores e do engessamento de suas rotinas de trabalho, o taylorismo e fordismo entraram em crise, já que a força de trabalho se demonstrava insatisfeita com os paradigmas no seu cotidiano laboral:

A classe trabalhadora já se encontrava desgastada pelos modos de intensificação do processo de trabalho, o que gerou uma verdadeira revolta por parte das camadas proletárias, marcada por um aumento do absentismo, do turn-over, da dilapidação, das sabotagens, das greves (Ribeiro, 2015, p. 72).

Com o modelo americano em xeque e com a nascimento de uma nova nação capitalista, o Japão pós segunda guerra mundial, nasce o toyotismo, modelo produtivo adotado por um dos grandes conglomerados daquele país: a Toyota. A Cultura oriental, diferente da ocidental, imprimiu uma nova abordagem sobre o trabalhador. Iniciou-se uma valorização do capital humano, identificando sua importância para a produtividade e eficácia da organização. Foram diversas mudanças significativas para o trabalhador, como o chamado emprego vitalício, a representação sindical, sistema de relação de insumo-produto entre grandes e pequenas empresas, mas principalmente o sistema de gestão com as seguintes características:

Sistema de organização e gestão do trabalho: Just-in-time – produzir no tempo certo, na quantidade exata; Kanban – placas ou senhas de comando para reposição de peças e estoques; qualidade total – envolvimento dos trabalhadores para a melhoria da produção; trabalho em equipe – a organização do trabalho está baseada em grupo de trabalhadores polivalentes que desempenham múltiplas funções (Ribeiro, 2015, p.74).

Assim, surgiram novas possibilidades de interação entre os colaboradores, de forma a produzirem em equipe e constituírem um ciclo de fruição do conhecimento, desenvolvendo habilidades para a execução de várias funções. Mesmo com uma mudança drástica em relação ao período anterior, a flexibilidade e possibilidades de inovação ainda eram limitadas aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento nas empresas. Com a evolução das TIC e maior rapidez na difusão do conhecimento, além de maior investimento em educação, os espaços dentro das empresas ficaram limitados. As novas ideias, implementações e implicações no cotidiano das pessoas possibilitaram a entrada na chamada inovação aberta (Santos, Fazon & Meroe, 2011).

Para este modelo de inovação surgiram demandas de diferentes arranjos de trabalho, inclusive, arquitetônico e de acesso à tecnologia, de forma que novos conhecimentos possam ser gerados e absorvidos pela sociedade, seja no setor privado, seja no setor público.

3.4. INOVAÇÃO NO SETOR PÚBLICO (ISP)

A inovação tecnológica está muito mais evidente no setor privado, e por isso mesmo, mais estudos desenvolvidos nas ciências econômicas vêm deste setor, como elucidado pelos teóricos referidos anteriormente. Até então o Estado era apenas um impulsionador da inovação dentro do setor privado, seja fomentando pesquisa e desenvolvimento juntos às organizações ou, no caso da inovação aberta, mais determinante no que tange a produção de conhecimentos com investimento geral em educação, em todos os níveis (Santos, Fazion & Meroe, 2011).

Existe uma pressão cada vez maior das populações sobre a necessidade de mais eficiência e qualidade nos serviços públicos. Isto faz com que Estados e seus governos busquem maximizar a oferta da máquina pública diante recursos orçamentários cada vez mais escassos. Esta antítese que se faz entender a necessidade da inovação tecnológica no setor público (Santos, Fazion & Meroe, 2011).

Os estudos diretamente relacionados à Inovação no Setor Público (ISP), tipificações e benefícios da otimização da governança deste setor, com inovação, são recentes, até mesmo porque na teoria econômica o foco da inovação era o produto, quase que hegemônica, ou inovação nos caminhos produtivos para chegar à inovação final do bem. Estudos relacionados aos serviços são recentes, onde o setor público atua em quase sua totalidade. Os estudos da inovação nas últimas décadas alternaram o foco hegemônico de abordagens sobre produtos manufaturados para a ênfase em inovação em serviços. Tal cenário redundou em uma miríade de conceitos de inovação (Cunha & Cavalcante, 2017).

A ISP veio ganhando destaque devido a uma crescente demanda por serviços públicos mais eficientes e de melhor qualidade, induzindo o Estado a incorporar inovações no setor privado ou, muitas vezes, inovando no setor público, endogenamente, em variáveis principalmente relacionadas à governança. Segundo Morales & Dandolini (2022, p.21):

Esses estudos são motivados pelo aumento de demandas de avaliações comparativas de eficiência e qualidade dos serviços prestados à sociedade, propiciados pela necessidade do enfretamento a mudanças societárias (...) a necessidade de se identificar os fatores que contribuem para se obter os resultados desejados na inovação do setor público.

Conceitualmente, a ISP pode ser definida como “a introdução de novos elementos em um serviço público na forma de novos conhecimentos, uma nova organização e/ou novas habilidades de gestão” (Osborne & Brown, 2011 apud Morales & Dandolini, 2022, p.23). A

partir dos tipos de inovação identificados pela teoria econômica, alguns estudos apresentam as tipologias de inovação que podem ocorrer no setor público, até mesmo porque existem grandes diferenças entre uma organização privada e pública, já que no setor público o objetivo final é trazer benefícios públicos, diferente das vantagens competitivas normalmente encontradas em estruturas de mercado do setor privado. Ainda segundo Morales & Dandolini (2022, p. 24):

A inovação, no setor público, não é desejável em si mesma, como ocorre em empresas privadas, mas sim pelo fato de aumentar o valor público na governança ou nos serviços em termos de qualidade, eficiência e adequação ao propósito, podendo ser conceituada tanto como processo quanto resultado.

Esta inovação pode ser positiva ou negativa, e deve ter como parâmetro o quanto ela afeta, sensivelmente, as operações e as pessoas de uma organização e o impacto percebido pelo público. Como bem destaca Oliveira & Júnior (2017, p.38):

... consequências de inovações a efetividade (...); o aumento de eficiência; os parceiros privados envolvidos; os cidadãos envolvidos; o aumento da satisfação do consumidor; entre outros.

Fica, assim, evidente a importância em se inovar no setor público, entendendo que as consequências vão para além da tangibilidade, proporcionando mudanças no comportamento desde o servidor-empendedor até a satisfação dos usuários dos serviços públicos, passando por mudanças nos processos burocráticos da organização pública inovadora. Oliveira & Júnior (2017) elencaram três períodos nos quais a ISP está inserida no contexto do desenvolvimento da teoria econômica: período schumpeteriano, período da teoria organizacional e período da teoria autóctone.

Na teoria schumpeteriana o setor público pode atuar como empreendedor ou a inovação pode ser incorporada e fomentada pelo governo. No período da teoria organizacional as pesquisas sobre inovação abordam que esta acontece tanto do setor privado para o público, quanto vice-versa. Já no período autóctone, a partir deste século, a inovação no setor público se desvincula do privado, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas e novas abordagens teóricas de como se dá a ISP, focada nos serviços públicos e na governança. (Oliveira & Júnior, 2017)

Mulgan (2007) apresenta que:

A mais simples definição da inovação no setor público engloba ideias que são eficazes para criar valor público, sendo necessário que as ideias sejam, ao menos em

parte, novas (em vez de melhorias incrementais); estejam implementadas; e sejam úteis (neste ponto destacando a necessidade de se verificarem seus impactos para verificação da entrega do valor público delas esperado) (OLIVEIRA, JÚNIOR, 2017, p.36).

Assim, conclui-se que conceitos e definições de ISP estão evoluindo concomitantemente às mudanças na realidade empírica que propicia novas abordagens teóricas sobre o tema, destacando que, neste último período, surgem mais reflexões sobre o papel do gestor público e dos políticos como fundamental para criam um ambiente público inovador.

3.5. TIPOLOGIAS DE ISP

Para classificar a ISP em tipologias é necessário recorrer ao importante trabalho de De Vries, Bekkers & Tummers (2016), no qual foi feita uma revisão completa e sistemática sobre a inovação no setor público. Os autores identificaram quatro tipos de inovação no setor público: inovação de produtos e serviços, de processos, de governança e conceitual. A inovação de produtos e serviços ocorre similarmente ao setor privado. Trata-se da criação de novos produtos ou serviços públicos. Uma organização pública pode criar um novo produto ou serviço que venha a beneficiar o público que atende. Quando uma Universidade pública cria um novo protocolo de entrada para portadores de algum tipo de deficiência, ela está inovando em um serviço.

A inovação de processos tem por objetivo melhorar eficiência, e qualidade, dos processos de uma organização, sejam internos ou externos, os quais De Vries, Bekkers e Tummers (2016) subdividem em dois tipos de inovação em processos: administrativos e tecnológicos. Os administrativos tratam de novos métodos de gestão e novos métodos de trabalho, já os tecnológicos ocorrem com a criação, ou uso, de novas tecnologias em uma organização.

A inovação de governança ocorre quando são introduzidas novas maneiras de se abordar um problema social, com práticas de governança que possibilitam autorregulação da solução inovadora para o problema, adotando práticas e métodos garantir a fruição da inovação dentro da organização. Já a inovação conceitual permite a reformulação da natureza dos problemas de uma organização pública ao introduzir novos conceitos que serão referência para a solução de um problema em questão (Morales & Dandolini, 2022). Para Morales & Dandolini (2022, p.27):

(...) o foco da inovação pública é caracterizado na tipologia de inovação de processos (47%), sendo 40% de natureza administrativa e 7% de natureza tecnológica, seguidos por inovação em produtos e serviços (22%), com poucos estudos em inovação de governança (13%) e inovação conceitual (2%).

Morales & Dandolini (2022) concluem que a maior parte das inovações que ocorrem no setor público são em processos (47%), estatística na qual o presente trabalho está inserido, sendo relevante tratar especificamente das abordagens sobre este tema.

3.6. INOVAÇÃO EM PROCESSOS

A inovação em processo, como citado anteriormente, representa quase a metade de todas ISP (Morales & Dandolini, 2022). Este número reflete a necessidade cada vez maior de um redesenho das organizações, incorporando novas TIC, criando a demanda para a mudanças de paradigmas em relação a gestão, principalmente humana. Inovação em tecnologia e inovação administrativa são dois subgrupos da inovação em processos que interagem entre si, sendo que cada um fomenta o desenvolvimento do outro.

As inovações que impactam a forma de uma unidade do setor público operar suas rotinas operacionais define a inovação em processo. Objetivamente, Morales & Dandolini (2022) conceituam que “a inovação de processos é percebida como mudanças no modus operandi de uma organização, quer seja de ordem administrativa ou tecnológica, não despertando maiores dúvidas na literatura”. Pode-se citar inúmeros exemplos de possibilidade de inovação em processos: a desburocratização, em qualquer nível da organização; criação de soluções de TIC para determinados processos administrativos; inovação no gerenciamento de recursos públicos; inovação na gestão dos servidores e de suas rotinas, entre muitas outras possibilidades de inovação que alteram as rotinas operacionais das pessoas e das organizações num todo.

Costuma-se dividir a inovação em processos em dois grupos: inovação administrativa e inovação tecnológica. A primeira trata dos processos administrativos operacionais da organização pública, enquanto a segunda promove a incorporação ou desenvolvimento de novas TIC para a maximização da eficácia da produtividade no setor público. Importante o entendimento que a inovação administrativa depende da gestão da unidade de uma organização pública, sendo o próprio gestor inovando no setor, com técnicas organizacionais administrativas de recursos monetários e humanos, ou fomentando os servidores a buscarem por soluções criativas e de impacto nas rotinas que desenvolve, alinhado aos objetivos e

missões institucionais. A inovação em gestão funciona como um propulsor de novas inovações (Morales & Dandolini, 2022).

Para Morales & Dandolini (2022, p.34):

A inovação de gestão possui duas dimensões: a dimensão tecnológica, que reflete o uso de novos sistemas de gestão e informação para a continuidade da operação dos sistemas de forma eficiente, e a dimensão administrativa ou não-tecnológica (...), na qual são adotadas novas estruturas administrativas, sistemas de gestão e processos para tornar o trabalho de gestão mais eficaz.

Para que esta inovação ocorra, é preciso perceber o exercício da função do servidor público não apenas como aquela delimitada em suas funções descritas no edital do concurso para o qual se candidatou. O desenvolvimento humano dentro das organizações públicas é cada vez mais necessário para que este servidor possa exercer um papel inovador dentro de sua atuação (Malischeski & Kangerski, 2022). Segundo Malischeski e Kangerski (2022) “é o capital humano de uma organização que aciona o motor da inovação, renova estratégias, cria novos serviços e estabelece novas conexões”, ou seja, o servidor público é chave essencial para que ocorra a inovação, pois somente ele é capaz de empreender novas soluções para os problemas que vivencia no cotidiano de suas rotinas operacionais.

Esta maneira de empreender é conhecida como intraempreendedorismo, aquele que ocorre dentro das organizações que contribuem para maior produtividade e eficácia no cumprimento das metas institucionais. Os estudos referentes ao intraempreendedorismo no setor público são recentes e abrem caminho para o desenvolvimento de inúmeras pesquisas para fomentar a inovação no setor público. Como bem poderam Malischeski & Kangerski (2022, p.91):

Mesmo que o termo venha sendo estudado desde o final da década de 70, a discussão do intraempreendedorismo, no âmbito público, requer maior aprofundamento pelas pesquisas acadêmicas (...). Além disso, o seu significado é amplo e encapsula diferentes subconstruções, tais como a inovação e iniciativa dos funcionários.

Para que isso ocorra, é importante uma gestão inovadora que proporcione um ambiente incubador de novos conhecimentos capazes de inovar e levar benefícios para o público. A inovação em gestão, flexibilizando burocracias, descentralizando decisões, fomentando o servidor a criar novos arranjos para o desenvolvimento de suas rotinas operacionais, viabiliza o processo de inovação, beneficiando o bem-estar laboral dos servidores e otimizando a eficiência da máquina pública, inclusive no âmbito das políticas

públicas. Malischeski e Kangerski (2022) afirmam que “o empreendedorismo no serviço público busca superar entraves burocráticos e políticos” e:

Para que o gestor ou servidor público possa inovar e proporcionar benefícios para uma organização, alguns desafios podem ser apontados, como o excesso de burocracia, a verticalização das hierarquias, a centralização nas tomadas de decisões, a aderência legislativa e a rigidez nas rotinas, características tradicionais do setor governamental (MALISCHESKI & KANGERSKI, 2022, p.91).

Portanto, com a criação de um ambiente criativo e descentralizado pelo gestor, inovando em si mesmo, haverá grandes possibilidades de haver inovação em processos, ainda mais que o comportamento das pessoas, socialmente, vem se transformando com a utilização com a incorporação das TIC nos seus cotidianos, inclusive no trabalho, induzindo à inovação tecnológica, essencial para ocorrer a inovação em processos (Malischeski & Kangerski, 2022). As TIC têm papel fundamental na inovação em processos, pois através de tecnologias computacionais e de informação, como a internet, as pessoas estão conectadas a qualquer lugar do planeta, produzindo e difundindo conhecimento a fim de incrementar mais tecnologias às já existentes, num processo cíclico de invenção, inovação e difusão de novas tecnologias, as três fases do processo de inovação descrito por Schumpeter (1988).

Segundo Pereira & Silva (2010) “a atual revolução tecnológica não é caracterizada pela centralidade de conhecimentos e informação, mas, sobretudo pela aplicação desses conhecimentos em uma dinâmica constante entre a inovação e seu uso” e ainda acrescentam os autores: “As TICs podem ser consideradas um dos fatores mais importantes para as profundas mudanças no mundo e, com a dinâmica da inovação, tornam-se imprescindíveis para a economia global e seu desenvolvimento.”

A evolução do desenvolvimento tecnológico, impulsionado pelas TIC, demanda inovações organizacionais, como novos modelos de gestão, já que as atividades laborais estão em constante mudança devido à conectividade e ao rápido acesso à informação pelas pessoas. Para Santos, Fazion & Meroe (2011):

Essa evolução inclui o estudo de modelos e práticas gerenciais voltadas à inovação e considera um universo ampliado que sai do contexto interno das empresas e organiza-se de maneira aberta através da formação de novas redes de informação e criação.

A flexibilização do trabalho é resultado desta evolução do desenvolvimento tecnológico, já que, diante da conectividade, da necessidade de aumentar produtividade e reduzir custos, as organizações do século XXI passaram a aderir a este modelo flexível do

trabalho como uma alternativa e oportunidade para a maximização dos resultados advindos de uma determinada atividade econômica cada vez mais dependente das TIC. É neste contexto que o modelo de trabalho de *coworking*, ou melhor, a formação de equipe de *coworkers*, se insere como inovação e solução gerencial (Medina & Krawulski, 2015).

Assim, a inovação tecnológica, e em gestão, atuam em simbiose. Juntas, proporcionam um ambiente favorável ao desenvolvimento do empreendedor público, fomentando inovações em processos significativos para a maximização da eficiência da equipe de trabalho, do gestor, da organização, podendo, inclusive, despertar inovações em governança e política. Para que isto ocorra são necessárias mudanças na forma do trabalhador desenvolver não só suas operações, mas suas ideias. Os espaços de trabalho e a forma como ele é gerido são essenciais para que a inovação esteja presente no cotidiano das pessoas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de tantas transformações que a inovação tecnológica provocou na sociedade durante a história, o estudo teórico desta variável econômica torna-se fundamental para o entendimento sobre como estas inovações impactam no cotidiano dos trabalhadores e consumidores, seja no setor privado ou público. A teoria econômica conclui que existe, econometricamente, um fator multiplicativo ao capital e trabalho na oferta agregada da economia que proporciona rendimentos crescentes de escala, aumentando a eficiência das organizações, resultando positivamente no crescimento e desenvolvimento econômico. Empiricamente, as organizações transformaram sistemas produtivos e as relações de trabalho ao longo do tempo, adequando a cada inovação. No setor público, devido a grandes dificuldades burocráticas, de hierarquização vertical, baixo investimento em tecnologia, restrição orçamentária, entre outros, a inovação tecnológica acontece de forma mais lenta. Identificou-se na pesquisa que, mesmo diante da escassez de estudos sobre o tema, quase metade das ISP ocorrem em processos, tanto com inovação em gestão, quanto como inovação em novas TIC, ambas de forma concomitante. A inovação em processos é fundamental para que ocorra inovação em todos os nichos do setor público, seja inovando em produtos ou serviços, conceitualmente e, principalmente, em governança. Diante da maior demanda por bons serviços público e orçamento escasso, a ISP passou a ter grande significância na teoria da administração pública e, principalmente, para os políticos, gestores e servidores públicos que buscam cumprir a missão e objetivos de suas instituições e ofertar um serviço com maior

eficácia econômica, incorrendo no aumento do bem-estar do público que consome os serviços do Estado.

REFERÊNCIAS

- BURGER, B.E.; FIATE, G. G. S. A governança da propriedade intelectual no contexto da inovação aberta. **Revista de Administração Unimep**, v. 18, n. 2, p. 209-235, 2020.
- CUNHA, B.Q.; CAVALVANTE, P. **É preciso inovar no governo. Mas por quê? Inovação no setor público: teoria, tendências e casos no Brasil**. Brasília: Enap: Ipea, 2017.
- DE VRIES, H.; BEKKERS, V.; TUMMERS, L. Innovation in the public sector: a systematic review and future research agenda. **Public Administration**, v. 94, n. 1, p. 146-166, 2016.
- DOMAR, E.D. Capital expansion, rate and growth, and employment. **Econometrica**. v. 14, n. 2, p. 137-147, 1946.
- HARROD, H.R.F. An Essay in Dynamic Theory. **The Economic Journal**, v. 49, n. 193, p. 14-33, 1939.
- JONES, C.I. Times series test of endogenous growth models. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 495-525, 1995.
- MALISCHESKI, K.; GANGERSKI, F.A. **O intraempreendedorismo e inovação no setor público. Inovação no setor público: desafios e possibilidades**. São Paulo: Pimenta Cultural, 2022.
- MORALES, P.D.A.; DANDOLINI, G.A. 2022. **Tipologias da inovação no setor público: uma revisão integrativa de literatura. Inovação no setor público: desafios e possibilidades**. São Paulo: Pimenta Cultural, 2022.
- MULGAN, R. Truth in government and the politicization of public service advice. **Public Administration**, v. 85, n. 3, p. 569-586, 2007.
- OLIVEIRA, L.F.; JÚNIOR, C.D.S. **Inovações no setor público: uma abordagem teórica sobre os impactos de sua adoção. Inovação no setor público: teoria, tendências e casos no Brasil**. Brasília: Enap: Ipea, 2017.
- PORÉM, M. **Dimensões da comunicação organizacional. Estratégias Competitivas: Comunicação, Inovação e Liderança**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, p. 18-32, 2015. ISBN 978-85-99679-73-9. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/Especializacao/EstrategiasCompetitivasdeMercadoComunicacao,InovacaoeLideranca/estrategiascompetitivas---edicao-2.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2023.

- RIBEIRO, A.F. Taylorismo, fordismo e toyotismo. **Lutas Sociais**, v. 19, n. 35, p. 65-79, 2015.
- ROMEIRO, A.R. **Civilização e Inovação. Porque a Revolução Industrial foi um dependente de uma trajetória civilizacional**. Campinas: IE/Unicamp, 2021.
- ROMER, P. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, v. 98, p. 71- 102, 1990.
- SANTOS, A.B.A.; FAZION, C.B.; MEROE, G.P.S. Inovação: um estudo sobre a evolução do conceito de Schumpeter. **Caderno de Administração**, v. 5, n. 1, 2011.
- SCHUMPETER, J.A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SILVA, J.A. A tecnologia na teoria do crescimento econômico. **Revista Pesquisa e Debate**, v. 32, n. 1, p. 27-49, 2020.
- SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.
- SOLOW, R.M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.
- TOFFLER, A. **A terceira onda**. Tradução João Távoa. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ: Record, 1980.

CAPÍTULO V

PONDERAÇÕES SOBRE O *COWORKING* NO SETOR PÚBLICO FEDERAL

THOUGHTS ON COWORKING IN THE FEDERAL PUBLIC SECTOR

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-5

Fábio Garcia dos Santos¹
Geoffroy Roger Pointer Malpass²
Ana Claudia Granato Malpass²

¹ Mestre em Inovação Tecnológica. Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica - UFTM

² Docentes do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica – UFTM

RESUMO

O conceito de *coworking* inicialmente limitava-se ao compartilhamento de espaços para profissionais que buscavam dividir custos de operação de suas atividades, mas com o tempo percebeu-se que nestes lugares também poderiam ser concebidas ideias para solucionar diversos problemas da vida cotidiana e nasciam, assim, equipes e negócios de alto potencial de crescimento tecnológico e econômico. Assim, o objetivo deste trabalho foi criar um referencial teórico sobre o *coworking* de forma geral e o *coworking* no setor público. Para tanto utilizou-se a bibliografia disponível sobre o conceito de *coworking*, de sua origem aos dias atuais, inclusive no Brasil. Definindo este modelo organizacional não apenas como um modelo de espaços, o texto aborda os *coworkers*: trabalhadores usuários do *coworking*. Desta forma, foi possível analisar os benefícios e principais características do *coworker*, assim como os seus valores em comum. Além disso, através da literatura disponível na área o trabalho trata do *coworking* no setor público, como este processo de transição de modelo organizacional está se desenvolvendo na administração pública com a introdução do teletrabalho, pós-pandemia por COVID-19, assim como a apresentação de alguns estudos de caso de sucesso, como o projeto Coworking 360 da Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), o Espaço ANA Coworking na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a sala360, um espaço de *coworking* da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), além do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) que está implementando o *coworking* na reitoria daquele instituto.

Palavras-chave: *Coworking*. *Coworkers*. Setor público.

ABSTRACT

The concept of *coworking* was initially limited to sharing spaces for professionals who sought to share operating costs for their activities, but over time it was realized that ideas could also be conceived in these places to solve various problems in everyday life and were thus born teams and businesses with high potential for technological and economic growth. Thus, the objective of this work was to create a theoretical framework on *coworking* in general and *coworking* in the public sector. To this end, the available bibliography on the concept of *coworking* was used, from its origins to the present day, including in Brazil. Defining this organizational model not just as a model of spaces, the text addresses *coworkers*: workers who use *coworking*. In this way, it was possible to analyze the benefits and main characteristics of the *coworker*, as well as their common values. Furthermore, through the literature available in the area, the work deals with *coworking* in the public sector, how this organizational model transition process is developing in public administration with the introduction of teleworking, post-COVID-19 pandemic, as well as the presentation of some successful case studies, such as the Coworking 360 project at the National School of Public Administration (ENAP), the “ANA Coworking Space” at the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), sala360, a *coworking* space at National Telecommunications Agency (ANATEL), in addition to the Federal Institute of Amazonas (IFAM) which is implementing *coworking* in the rectory of that institute.

Keywords: *Coworking*. *Coworkers*. Public sector.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade global passa, nos dias atuais, por transformações cada vez mais profundas e rápidas no modo de viver das pessoas, seja individualmente, coletivamente ou na execução de seu trabalho. Observa-se, os tempos de avanço nas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), os arranjos produtivos demanda novos desenhos estruturais, de rotinas operacionais e de desenvolvimento humano nas organizações, privadas ou públicas. Estas tecnologias levaram muitos profissionais a executarem suas tarefas em casa, no formato de teletrabalho, configurando novas rotinas para execução de suas atividades. Para enfrentar o isolamento, que inibe a capacidade de criação e inovação, surgiram modelos organizacionais para acolher estes trabalhadores, especialmente o *coworking*.

A inovação em processo no setor público, diante de novas TIC e, pós pandemia por COVID-19, demandou a regulamentação e implementação do Programa de Gestão e Desenvolvimento (PGD) para servidores em trabalho presencial ou teletrabalho, parcial ou integral. Essas novas normativas propiciaram um ambiente propício para instalação de espaços de *coworking* no serviço público federal. Além disso, o uso crescente de TIC e do trabalho semipresencial ou teletrabalho constituem-se elementos essenciais para o desenvolvimento de equipes de *coworkers* no serviço público.

Até julho de 2020, em meia à pandemia por COVID-19, “63% do total da força de trabalho da Administração Pública Federal” (Valor.globo.com, 30/07/2020 apud Regis, 2021, p. 70) estavam no regime semipresencial ou teletrabalho, com aumento de produtividade e redução de custos. Assim, a incorporação do *coworking* pelo serviço público configura-se como uma Inovação no Setor Público (ISP) de muitos desafios diante da burocracia do Estado, especificamente inovação em processo, tecnológico e de gestão. (Morales & Dandolini, 2022) Este modelo apresenta-se como uma solução para mitigar os efeitos do isolamento do servidor em teletrabalho além de estimular a busca por novos conhecimentos através do desenvolvimento de novos valores, como os que permeiam o *coworking* (Barreto & Ferraz, 2014).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo trazer um breve histórico de como surgiu o *coworking*, motivações para o surgimento, assim como o formato inicial em 2005. Em seguida é feita uma análise da literatura na área para conceituar e definir *coworking*, identificando suas características estruturais, arquitetônica e de equipamentos, e também os

tipos de habilidades e técnicas que este modelo de ambiente organizacional proporciona aos seus usuários, além do surgimento e expansão do *coworking* no Brasil. Foram identificados estudos sobre a implementação deste modelo no país, assim como as características específicas, inerentes à economia brasileira. Finalmente, foi analisada a implementação do modelo de *coworking* no setor público, apresentando as dificuldades e os entraves que impedem a propagação destes modelos nas organizações públicas, assim como qualquer tipo de inovação, devido ao excesso de burocracia e hierarquia verticalizada.

Este trabalho traz exemplos práticos da implementação deste modelo organizacional na ENAP e na reitoria do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), instituição que já aderiu ao Programa de Gestão e Desenvolvimento (PGD) e quem agora, desenvolve estudos para adotar o *coworking* e, assim, a formação de *coworkers* no serviço público federal. Ou seja, esse trabalho é de grande relevância para fomentar ISP e a criação de métodos de implementação do *coworking* no setor público, com suas características específicas, com objetivo de formar servidores colaborativos e com senso de comunidade, sustentabilidade, entre outros que propiciarão o aumento do bem-estar das pessoas, servidor e público, além de crescente produtividade, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento econômico.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a pesquisa bibliográfica como metodologia, pois essa tem por objetivo o aprimoramento do conhecimento através de uma detalhada investigação científica da literatura existente. Os instrumentos que são utilizados na realização da pesquisa bibliográfica podem ser livros, artigos científicos e outros tipos de fontes que já tenham sido publicadas. É comum que os estudos exploratórios e as pesquisas que analisam diferentes perspectivas sobre um tema também sejam desenvolvidas com base em fontes bibliográficas (Guerra, 2023).

Assim, foi feito um criterioso levantamento bibliográfico em diferentes bases de dados sobre os temas: definição e conceituação de *coworking*, incluindo uma linha história da evolução do conceito, tanto no mundo como no Brasil; as características dos usuários dos espaços de *coworking*, quais os tipos de benefícios individuais e coletivos, seja como autônomo ou dentro de uma organização e, desta forma, foi possível identificar os principais valores que regem os *coworkers*; e o *coworking* no setor público, identificando as dificuldades de implementação devido a características burocráticas deste setor.

Destaca-se que como o tema é novo não foi encontrado um volume substancial de literatura sobre o assunto, mostrando a necessidade de mais pesquisas sobre a temática.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O COWORKING

O termo *coworking* foi utilizado pela primeira vez no ano de 1999 por um *designer de games*, também escritor, na Inglaterra, para se referir a um sistema de trabalho compartilhado, colaborativo, com foco nas novas TIC. Porém ganhou notoriedade quando, em 2005, um programador, Brad Neuberg, teve a ideia de dividir seu apartamento em São Francisco (EUA) e descobriu uma grande oportunidade de negócio para si e para os outros. (Contessoto et al., 2020).

Em seguida, Neuberg fundou o primeiro espaço de *coworking*, o qual chamava de *coworking group*, inicialmente destinado às mulheres empreendedoras da cidade de São Francisco, em 09 de agosto de 2005, com o nome de *Spiral Muse*, que funcionava três vezes por semana. Com o passar do tempo, o espaço foi aparentemente reduzindo suas atividades quando, aqueles que já tinha entendido o conceito, remodelaram o espaço e alteraram o horário de funcionamento para 24 horas: nascia a *Hat Factory*:

Em um determinado momento, aproximadamente um ano dentro do *Spiral Muse*, parecia que o espaço havia morrido, parecia que o *coworking* havia morrido. Mas todas essas pessoas que pegaram a ideia e a refizeram, acabaram criando um novo espaço chamado *Hat Factory* (Dullroy, 2012 apud Barreto & Ferraz, 2014).

Assim, na década de 2000, houve um crescimento na utilização deste conceito de modelo de trabalho, espalhando por diferentes regiões do planeta. Para Uda (2013) estes modelos compartilhados “passaram a ser vigorosamente utilizados, principalmente no Estados Unidos, e também Europa e Japão, desde meados dos anos 2000.”

Em sua fase inicial de difusão, o *coworking* passou a significar apenas um redesenho de espaço, arquitetônico, para criar um ambiente criativo e colaborativo. Foram desenvolvidos diversos conceitos de *design* para caracterizar um espaço de *coworking*. O conceito inicial difundido de *coworking* limitava-se ao compartilhamento de espaços para profissionais que buscavam apenas dividir custos de operação de suas atividades independentes quando se percebeu que nestes lugares eram concebidas ideias para solucionar diversos problemas da vida cotidiana, principalmente diante das TIC, as quais eram

pré-incubadas, incubadas e nasciam, assim, equipes e negócios de alto potencial de crescimento tecnológico e econômico (Contessoto et al., 2020).

São espaços que incorporam o *design* no seu conceito, de forma a serem lugares de fácil redesenho e adequação às demandas operacionais. Para Campos, Teixeira e Schmitz (2015) o *coworking* deve possuir “um *design* flexível que possa atender as necessidades atuais e futuras; um espaço modular na qual sua estrutura possa ser alterada ou reconfigurada de acordo com as necessidades das atividades a serem realizadas”.

Normalmente são lugares que possuem ambiente para interação, com sofás, sala de reuniões compartilhada, locais de trabalho individual com possibilidade de revezamento, cores e artes que proporcionam a criatividade, tudo para propiciar um ambiente fértil para a inovação. Pode-se dividir elencar três ambientes que caracterizam um espaço de *coworking*: espaços *atelier*, espaços esconderijos e espaços de celebração e comunidade. No primeiro, as mesas são altas, com banquetas, em um espaço amplo que permite o contato visual entre as pessoas que ali executam suas tarefas, possibilitando a interação. Os espaços esconderijos são caracterizados para realização de tarefas individuais ou em pequenos grupos, trabalho que exigem maior concentração; são espaços que podem ter o uso em modelo de revezamento. Já os espaços de celebração e comunidade são caracterizados por serem bastante amplos, ou em jardins ou locais de design que possibilitam a realização de eventos e momentos de interação (Campos, Teixeira & Schimtz, 2015, p. 17).

As organizações viram neste modelo a possibilidade de interação entre seus colaboradores, fornecedores, clientes e agentes de inovação, seja aberta, com parcerias com centro de inovação, seja fechada, para os trabalhadores em pesquisa e desenvolvimento:

(...) as empresas estão abrindo seus ambientes para o trabalho colaborativo junto as suas redes de fornecedores, clientes e parceiros de negócios, em modelos de ambientes flexíveis que possam acomodar suas redes para trabalharem, após o término de reuniões ou de forma esporádica (Campos, Teixeira & Schimtz, 2015, p. 8).

Os espaços de *coworking* se tornaram atrativos para as empresas, principalmente, pela possibilidade de redução de custos. Neste modelo há a implementação de ambientes de trabalho cujas principais características são o compartilhamento de espaços e equipamentos. Setores antes segregados passam a trabalhar juntos no compartilhamento de salas de reuniões, equipamentos de acesso às TIC e outros necessários para a operação da organização (Barreto & Ferraz, 2014).

Especificamente em relação à inovação aberta, salienta-se que este modelo se popularizou na criação de centros de inovação. As incubadoras de empresas, os núcleos de inovação tecnológica, agências de inovação, independentes ou vinculadas às redes de ensino e pesquisa, entre outros, são exemplos de lugares onde os espaços de *coworking* se propagaram:

(...) as universidades também estão aderindo a este novo conceito de espaço, pois possibilita o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos, pesquisas, atividades regulares de empresas juniores, desenvolvimento de projetos, novos negócios (*startups* e *spinoffs* universitárias) (Campos, Teixeira & Schimtz, 2015, p. 9).

Os espaços são modernos com acesso a TIC de ponta e *design* arquitetônico futurístico. A expansão do *coworking*360 é um exemplo deste movimento. Em 2022 foi inaugurada a 360m2 COWORKING, com sede em Santo André, região metropolitana de São Paulo com espaços futurísticos e visões panorâmicas para permitir maior bem-estar dos usuários do local. Em seu site oficial, o empreendimento afirma que:

Profissionais de vários setores e experiências compartilham um ambiente de trabalho com muita comodidade, internet de alta velocidades, salas de reunião, salas individuais, espaço compartilhado, auditório, espaço café, sala de descompressão com cadeira de massagem e *honest market* (360M2 Coworking, 2023).

Assim, os espaços de *coworking* foram ganhando novos desenhos adequados ao objetivo do local no qual são inseridos, desde as empresas, passando por instituições da educação até empreendimentos de inovação, como o supracitado.

3.2. COWORKING NO BRASIL

A expansão do *coworking*, devido aos benefícios já mencionados, ocorreu rapidamente para o mundo todo, desde os Estados Unidos, passando pelo Japão, país onde o toyotismo já havia preparado o terreno, e todo oriente, até Ásia, Europa, Oceania, África e, também, na América Latina, onde destaca-se o Brasil, país cujo modelo de *coworking* já está presente em diversos nichos da economia e sociedade em geral. Segundo último senso da plataforma Coworking.org (2019), houve uma grande evolução do número de espaços de *coworking* instalados no país. O número saltou de 238 em 2015 para 1.497 em 2019. De 2018 para 2019 o crescimento foi de 25%. Estes dados revelam o quanto este modelo foi adaptado no Brasil e passou a ser utilizado por diversos tipos de organizações.

Segundo Medina e Krawulski (2015) “o *coworking* ainda é fenômeno recente no Brasil: os primeiros movimentos de implementação dessa iniciativa em nosso país datam de 2007,

mostrando-se como tendência cada vez maior no mercado de trabalho atual.” No entanto, não há referências acadêmicas de quando e como este movimento surgiu no Brasil. Segundo Barreto e Ferraz (2014) “O Pto de Contato, de São Paulo se proclama como tal em seu *site*, que aponta 2008 como o ano em que *coworking* começou no Brasil”.

Empiricamente, observa-se uma difusão destes espaços de trabalho, principalmente em empresas intensas em inovação tecnológica. Existem cada vez mais espaços espalhados por 195 municípios do país. “São Paulo continua líder isolado no *ranking* por região, com cada vez mais espaços na capital, de todos os perfis” (Coworking.org, 2019).

Os espaços de *coworking* para criar um ambiente de inovação passaram a se tornar, inclusive, políticas públicas em cidades de médio porte, como Uberaba, Minas Gerais, que conta com um Parque Tecnológico e uma edificação pensada para o *coworking*. No Brasil existe, atualmente, um movimento governamental para fomentar estes tipos de espaços. Os Núcleos de Inovação Tecnológica, assim como Agências de Inovação, incubadoras, parques tecnológicos, entre outras ações de *coworking* criadas em ambientes de ensino ou públicos, em várias esferas, municipal, estadual e federal (Prestes & Castro, 2022).

Diante deste novo arranjo no modelo de trabalho, nos espaços, com evolução das TIC, os usuários do *coworking* passaram a desenvolver técnicas e habilidades humanas, individuais e coletivas, que configuram um novo tipo de trabalhador: o *coworker*.

3.3. OS COWORKERS

Com a consolidação do modelo em incubadoras de empresas, centros de inovação e nas corporações privadas, a prática revelou que o modelo pode ir muito além de um espaço compartilhado, configurando como um local de estreitamentos das relações interpessoais e laborais, promovendo maior integração, colaboração e, por fim, maior produtividade e bem-estar da equipe, empresa e, principalmente, dos indivíduos (Medina, 2016). Para o autor:

Esse processo de exploração do campo permitiu, assim, refinar o tema e melhor delimitar o problema estudado, a partir da constatação de que a proposta dos espaços de *coworking* vai além de compartilhamento somente de espaço, abrangendo também troca de ideias, serviços e conhecimento (Medina, 2016, p.49).

Assim, este tópico do presente trabalho se dedica a fazer uma análise da literatura sobre os usuários dos espaços de *coworking*, assim como suas características laborais e comportamentais, com o objetivo de identificar as variáveis que definem a atuação destes profissionais ou agentes de inovação.

Os usuários dos espaços de *coworking* são chamados de *coworkers*, colegas de trabalho em tradução livre. Porém, dentro da definição do modelo de *coworking* apresentada acima, *coworkers* são indivíduos que não só compartilham espaço, mas também experiências e conhecimento, proporcionando maior integração dos trabalhadores. Para Uda (2013) “*coworkers* são, conceitualmente, indivíduos que trabalham em conjunto com vários outros de diferentes atributos em um determinado lugar, e esta definição pode ser aplicada a *freelancers*, pequenos empreendedores e membros da organização.”

Com esta proximidade interpessoal do *coworking*, os *coworkers* estreitam laços, contatos interpessoais, profissionais, experiência individuais e, assim promovem a humanização das relações de trabalho. Assim, "a proposta dos espaços de *coworking* vai além de compartilhamento somente de espaço, abrangendo também troca de ideias, serviços e conhecimento" (Sweet & Moen, 2004. p.3).

Para Medina e Krawulski (2015):

Os novos arranjos organizacionais extrapolam os muros e barreiras que existiam nas empresas tradicionais para se refazerem em contextos mais dinâmicos, criativos e complexos. Nesse contexto, o *coworking* emerge como uma alternativa para buscar atender às demandas atuais, tanto das organizações quanto dos profissionais, por meio de sua configuração estrutural e sua proposta de espaço ocupacional.

Neste aspecto, este modelo proporciona, dentro de um ambiente mais competitivo, saudavelmente, maior criatividade e produtividade. Isso proporcionou nos últimos anos, a criação de espaços de *coworking* em diversos formatos e, ainda, a incorporação não apenas deste modelo espacial, mas como técnica de gestão pelo setor corporativo privado e público para a formação de equipes de *coworker* (Medina & Krawulski, 2015).

Segundo Medina e Krawulski (2015, p.187):

Sabe-se que os avanços tecnológicos contribuem de modo decisivo para essa realidade, na medida em que possibilitam a flexibilização do trabalho e da comunicação, e favorecem a mobilidade dos trabalhadores, permitindo-lhes novos modos de exercer suas atividades laborais.

Desta forma, alguns estudos foram desenvolvidos com objetivo de caracterizar o *coworker*, o seu comportamento, suas técnicas e habilidades desenvolvidas neste modelo organizacional, características laborais e pessoais. Barreto e Ferraz (2014) realizaram uma pesquisa na qual identificaram os valores que são desenvolvidos pelas pessoas que trabalham num ambiente de *coworking* como: sustentabilidade, acessibilidade, *openness*, comunidade e colaboração. A sustentabilidade é identificada já no conceito do espaço de *coworking*, cuja

configuração é atrelada ao compartilhamento de espaços e equipamentos, o que reflete em redução de custos. Conforme Barreto e Ferraz (2014) “o compartilhamento de recursos existentes nos *coworking spaces* (...) os torna inerentemente sustentáveis do ponto de vista ecológico.”

A acessibilidade ao espaço de *coworking* permite ao trabalhador desenvolver suas atividades em dias e horários que considera mais produtivo para contribuir com as metas e objetivos coletivos; importante que o *coworking* esteja localizado estrategicamente para possibilitar o deslocamento dos *coworkers*, possibilitando total acessibilidade para que o colaborador possa decidir trabalhar neste espaço (Barreto & Ferraz, 2014). Já o *openness* está relacionado à abertura do *coworking*, à liberdade, criatividade e a interoperabilidade. Essa abertura proporciona maior capacidade de iniciar novos projetos, empreendimentos e soluções, criando um ciclo virtuoso de trocas de conhecimento e inovação, que é a interoperabilidade (Barreto & Ferraz, 2014).

O valor comunidade refere-se à maior possibilidade de interação entre os *coworkers*, criando um ambiente de comunidade, onde todos prezam pela boa convivência interpessoal e laboral, proporcionando o desenvolvimento de relações de confiança, que “é facilitado pela ausência de características típicas do modelo tradicional de trabalho, como a política de escritório, as hierarquias, os planos de sucessão” (Barreto & Ferraz, 2014, p. 31). Com a comunidade estruturada, a colaboração entre os *coworkers* é uma consequência natural. Conforme Barreto e Ferraz (2014), “depois da construção das relações de confiança que sustentarão a comunidade, é mais fácil que as pessoas colaborem umas com as outras.”

Assim sendo, os *coworkers* desenvolvem valores individuais e coletivos, supracitados, os quais contribuem para a difusão do conhecimento, produtividade, inovação, estreitamento das relações interpessoais, entre outros benefícios para o objetivo e missão dos indivíduos ou da organização onde estão inseridos. Segundo Barreto e Ferraz (2014) “o significado que a comunidade tem para a pessoa, relacionado a dimensão do envolvimento, é mais importante que a satisfação das necessidades que ela encontra em seu seio.”

Este ciclo virtuoso de colaboração dos *coworkers* permite a melhoria não só do bem-estar do trabalhador, pois, sob a perspectiva econômica, a produtividade e capacidade de inovação dos *coworkers* impactam no multiplicativo tecnológico sobre o trabalho na oferta agregada de uma economia. Como visto na literatura, este aumento incorre em expansão do

crescimento e do desenvolvimento econômico, beneficiando toda sociedade (Barreto & Ferraz, 2014).

3.4. COWORKING NO SETOR PÚBLICO

Especificamente no setor público, este modelo de gestão de *coworkers* encontra maior dificuldade devido à legislação, normas e regulamentações que regem as organizações públicas. Assim, Peres (2019, p.40):

(...) considera-se que o coworking na gestão pública é uma ferramenta social que busca criar um ambiente inovador em que entidades governamentais e não governamentais possam articular políticas públicas entre si; sempre respeitando o equilíbrio entre produção individual e trabalho colaborativo dos gestores públicos e demais atores.

Neste contexto, o setor público e seus servidores estão diante de mudanças estruturais que vão desde a operacionalização de novas rotinas de trabalho até a mudança de comportamentos, na forma de relacionar com a equipe, fomentando o Estado a investir em novas tecnologias e processos, através de políticas públicas, para incorporar estas mudanças e promover melhor gestão dos recursos e pessoas (Peres, 2019).

Com a organização estrutural mais humanizada dessa modalidade/espço de trabalho, a proposta é de que os profissionais se relacionem com maior facilidade, em um mesmo ambiente compartilhado, diante de uma proposta físico-espacial que estimula o *networking* (Peres, 2019).

Como pondera Santos (2021, p. 22):

Na eminência das transformações resultantes da intensa integração das TICs ao cotidiano social e institucional, reformulando, inclusive, as formas de diálogo, comunicação e interação, os Estados nacionais e subnacionais se veem obrigados a adequar seus processos, toda a burocracia estatal, políticas públicas e serviços públicos às novas condições.

Assim, é pertinente a criação de mecanismos de implementação e desenvolvimento de equipes de *coworkers* no setor público com o objetivo de propiciar redução de custos, aumento de produtividade e de bem-estar individual e coletivo, já que “estes espaços favorecem, além do compartilhamento do ambiente físico, possibilidade de interações entre pessoas e profissionais de diferentes conjunturas” (Fernandes et al., 2019, p. 180).

A regulamentação do trabalho semipresencial e do teletrabalho, através de Instruções Normativas emitidas pelo governo em 2018 e 2020, abriu caminhos para a inovação no serviço público, possibilitando a implementação de modelos de gestão contemporâneos, como o

coworking (Regis, 2021). A flexibilização transformou o modo do servidor público trabalhar, já que flexibilizar significa relaxar processos burocráticos, uma característica intrínseca ao serviço público. Para se adaptar a essa nova realidade, o governo federal, no Brasil criou o Programa de Gestão de Demandas (PGD) nas modalidades: o trabalho presencial e o teletrabalho, parcial ou integral. A Regulamentação se deu pelo Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, ministério criado com o objetivo de maximizar o potencial de trabalho dos servidores públicos federais, através de instruções normativas de regulamentação e implementação do PGD (Prestes & Castro, 2022).

Com o PGD, segundo portal do servidor, os servidores devem ter consciência autorregulatória de suas demandas de trabalho:

Teletrabalhadores devem demonstrar habilidades relacionadas à autonomia, autodisciplina, automotivação e autogerenciamento, que são capacidades autorregulatórias que auxiliam na manutenção de atenção e concentração nas atividades em andamento (Portal do Servidor, 2023).

O teletrabalho já é uma realidade no setor privado há décadas, e foi justamente este modelo de trabalho que incentivou a criação do modelo de *coworking*, já que o isolamento no teletrabalho demanda espaços, e momentos, onde as pessoas possam se encontrar para compartilhar conhecimentos. Por conta disso Barreto e Ferraz (2014, p. 26), reforçam que:

Algumas das motivações encontradas por Neuberg para fundar o *Coworking Group*, estão relacionadas a limitações inerentes ao esquema de *home-office*, principalmente associadas à falta de convívio presencial com os colegas de trabalho. Leforestier (2009) cita em seu trabalho uma pesquisa feita com mais de 2000 entrevistados nos Estados Unidos, onde 79% tem medo da solidão associada ao esquema de *home-office*, sensação compartilhada por 50% dos funcionários públicos no país.

Diante deste novo arranjo de trabalho, destas novas possibilidades de gerir espaços e pessoas, principalmente no setor público, a Escola Nacional de Administração Pública (ENAP) inovou ao implementar o modelo de *coworking* no setor público federal com a criação do primeiro “Espaço de Coworking360”, inaugurado em 18 de março de 2022, ilustrados pelas figuras 1 e 2. Conforme ENAP (2022) “a intenção é oferecer ambientes com infraestrutura adequada para o trabalho. Esse espaço poderá ser utilizado por servidores, mas o foco será naqueles que estão no Programa de Gestão.”

Figura 1: Espaço de Coworking360 da ENAP (1).



Fonte: ENAP (2022).

Figura 2: Espaço de Coworking360 da ENAP (2).



Fonte: ENAP (2022).

A sala de coworking360 da ENAP (2022) possui um arranjo arquitetônico com mais espaços para o *networking* com mesas e computadores conectados à energia para o uso de *notebooks* pessoais, biblioteca, inclusive mesas sob um pergolado para que os servidores possam trabalhar ao ar livre, como pode ser observado na figura 3 (ENAP, 2022). Esse espaço faz parte do programa “TransformaGov” do governo federal, o qual, visa promover inovação no serviço público com a disponibilização destes espaços. Tanto, que, no dia 24 de março de 2022 foi inaugurado outro espaço de coworking360 no Instituto Chico Mendes de conservação da Biodiversidade (ICMBio) (ICMBIO, 2023).

Figura 3: Espaço de Coworking360 da ENAP (3).



Fonte: ENAP (2022).

Durante a 1ª jornada da Inovação em Recurso Hídricos e Saneamento Básico, foi inaugurada, em 15 de junho de 2023, o “Espaço ANA Coworking” na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), fruto de um termo de cooperação entre a agência e o Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos, disponibilizando aos servidores um espaço adequado para aqueles que se encontram em regime de trabalho dos integrantes do Programa de Gestão e Desempenho (PGD) (ANA, 2023).

Mais recentemente, em 05 de dezembro de 2023, foi a vez da Agência Nacional de Telecomunicações inaugurar a sala360, um espaço de coworking. De acordo com ANATEL (2023):

A Sala 360° é um espaço versátil e funcional, projetado para atender às necessidades de reuniões e trabalho colaborativo. A Sala 360° é uma estratégia de racionalização abarcada pelo Programa Racionaliza e está presente entre o rol de soluções oferecidas pelo TransformaGov.

Diante essas transformações, os servidores devem estar preparados para este novo modelo de desenvolver suas atividades, já que o secretário de Gestão e Inovação (SEGES), Roberto Seara Machado Pojo Rego, disse “que está em andamento uma grande transformação da gestão pública e que as transformações do espaço físico de trabalho, como as Salas 360°, fazem parte desse processo de otimização e eficiência” (ANATEL, 2023).

Porém, como já foi abordado, há uma grande incongruência entre a burocracia do setor público e o modelo de *coworking*, o que demanda aos servidores novas perspectivas de realização de suas atividades laborais. Nesta lacuna, diante da implementação do Programa de Gestão e Desempenho (PGD), é necessário que os servidores sejam capacitados para

trabalharem neste formato, já que muitos estão há décadas executando rotinas operacionais engessadas pela burocracia. (Prestes & Castro, 2022).

Muitas organizações públicas e servidores estão pesquisando sobre a implementação do *coworking* no setor público. Para o Instituto Federal do Amazonas (IFAM), Prestes & Castro (2022) desenvolveram uma pesquisa para verificar a possibilidade de implementação do *coworking* na reitoria daquele instituto. De acordo com os autores (Prestes & Castro, 2022, p. 13):

Para o caso analisado, cabe ressaltar que o IFAM já tem uma unidade em teste que é a Reitoria, mas ainda carece de melhor instrumentalizar o programa. Um dos objetivos desta pesquisa é levantar os gargalos, entender como o processo deve ser implementado e posteriormente, propor diretrizes para a implantação de um projeto piloto de *coworking* em apoio aos servidores TAE, que participam do Programa de Gestão de Demandas (PGD). Os pesquisadores finalizam o trabalho com a proposta de instrumentalização e regulamentação do *coworking* no IFAM e em, em suas considerações finais, citam que a “minuta de regulamentação proposta será direcionada ao setor público, em especial ao IFAM, para que as estações de trabalho em apoio ao teletrabalho possam ser implantadas” (Peres & Castro, 2022). Neste contexto, o teletrabalho e o *coworking* apresentam como solução para a eficiência no setor público, da produtividade ao bem-estar do servidor e público, passando por novos arranjos de espaços e rotinas que otimizam os resultados das organizações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa bibliográfica propiciou elucidar o que é *coworking*, como surgiu e se espalhou no mundo, inclusive no Brasil, assim como sua evolução. O modelo de *coworking* se espalhou rapidamente pelo país a partir de 2015, seja dentro das empresas, com inovação fechada, seja em núcleos de inovação tecnológica, ou agências do tipo, em inovações abertas e hoje é uma realidade no país. Os trabalhadores deste modelo de gestão desenvolvem habilidades e técnicas novas com a interação com outros profissionais, propiciando um ambiente adequado para a inovação, além do bem-estar dos trabalhadores. Entretanto, quando se trata de *coworking* no setor público, existe uma enorme carência de pesquisas relacionadas ao tema, já que o serviço público possui inúmeros entraves para a implementação desse modelo, principalmente a burocracia e hierarquia verticalizada, dificultando o intraempreendedorismo e a possibilidade de inovação nas rotinas e serviços.

Mesmo com a criação do teletrabalho pelo governo federal em 2017, esse se tornou uma necessidade durante o período da pandemia causada pelo COVID-19. Assim, foram publicadas instruções normativas desde então, inclusive em 2023, com a criação do Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, o qual atualmente regulamentou o teletrabalho através do Programa de Gestão e Desempenho (PGD). Com isso muitas iniciativas em inovação em processos no setor público, tecnológica e de gestão se tornaram possíveis. As organizações públicas encaram o desafio de expansão do PGD com o fomento à inovação no setor público, com recursos orçamentários cada vez mais escassos. Assim, o *coworking* vem se tornando uma alternativa para essa mudança de comportamento laboral. Assim, a Escola Nacional de Administração Pública, (ENAP), no sentido de inovação, criou os espaços de *coworking*360, os quais já estão presentes na própria ENAP e em outras autarquias federais. Além dessa, o Instituto Federal do Amazonas (IFAM), também estudou a implementação do *coworking* na reitoria do instituto. Portanto, diante desta nova realidade do trabalho, o serviço público tem buscado inovar com a implantação do *coworking*, principalmente no âmbito federal, no entanto ainda há a necessidade de mais pesquisas sobre o tema. A relevância deste modelo se revela pelo ganho de produtividade e bem-estar dos servidores, num ambiente propício para criação e inovação, propiciando a otimização do uso dos recursos públicos, além de fomentar o crescimento e desenvolvimento econômico com a inovação tecnológica relativa ao trabalho dos *coworkers* na oferta agregada de uma economia.

REFERÊNCIAS

- 360M2 COWORKING. **Sobre nós.** Santo André, SP: Grupo360m2, [2023]. Disponível em: <https://www.coworking.360m2.com.br/o-coworking/>. Acesso em: 26 dez. 2023.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **ANA inaugura espaço para *coworking* em sua sede.** Brasília, DF: ASCOM, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-inaugura-espaco-para-coworking-em-sua-sede>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. **Anatel inaugura espaço de trabalho colaborativo.** Brasília, DF: ANATEL, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-inaugura-espaco-de-trabalho-colaborativo>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- BARRETO, G. & FERRAZ, F.T. Revisão bibliográfica sobre *coworking spaces*. **Relatórios de pesquisa em engenharia de produção**, v.14, p. 24-53, 2014.

BRASIL. Imprensa Nacional. **Decreto nº 11.072, de 17 de maio de 2022**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 93, seção 1, p. 5, 18 maio 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.072-de-17-de-maio-de-2022-401056788>. Acesso em: 28 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Economia. **Instrução Normativa nº 44, de 10 de junho de 2020**. Altera a Instrução Normativa nº 1, de 31 de agosto de 2018, que estabelece orientação, critérios e procedimentos gerais a serem observados pelos órgãos e entidades integrantes do Sistema de Pessoal Civil da Administração Federal - SIPEC, relativos à implementação de Programa de Gestão, de que trata o § 6º do art. 6º do Decreto nº 1.590, de 10 de agosto de 1995. Diário Oficial da União, 12 jun. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-44-de-10-de-junho-de-2020-261279454?inheritRedirect=true&redirect=%2Fconsulta%3Fq%3DComiss%25C3%25A3o%2520de%2520anistia%26publish%3Dpast-year%26delta%3D50%26publishFrom%3D2020-06-11%26publishTo%3D2020-06-12%26start%3D7>. Acesso em: 12 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos. **Instrução Normativa Conjunta SEGES-SGPRT nº 24, de 28 de julho de 2023**. Estabelece orientações a serem observadas pelos órgãos e entidades integrantes do Sistema de Pessoal Civil da Administração Federal - Sipec e do Sistema de Organização e Inovação Institucional do Governo Federal - Siorg, relativas à implementação e execução do Programa de Gestão e Desempenho - PGD. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 144, seção 1, 31 jul. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-conjunta-seges-sgpert-/mgi-n-24-de-28-de-julho-de-2023-499593248>. Acesso em: 03 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Instrução Normativa nº 1, de 31 de agosto de 2018**. Estabelece orientação, critérios e procedimentos gerais a serem observados pelos órgãos e entidades artigos acadêmicos Revista do MPC 118 integrantes do Sistema de Pessoal Civil da Administração Federal - Sipec relativos à implementação de Programa de Gestão, de que trata o § 6º do art. 6º do Decreto nº 1.590, de 10 de agosto de 1995. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 set. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39382838/do1-2018-09-03-instrucao-normativa-n-1-de-31-de-agosto-de-2018-39382704. Acesso em: 12 set. 2021.

CAMPOS, J. G. C.; TEIXEIRA, C. S.; & SCHMITZ, A. **Coworking Spaces: Conceitos, Tipologias e Características**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CONHECIMENTO E INOVAÇÃO, 2015. Anais [...]. [S.l]: Ciki, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.4611.5604.

CONTESSOTO, M.; STETTINER, C.F.; FORMIGONI, A.; MOIA, R.P. O *Coworking* como impulsionador de novos negócios. **Revista de Administração-UNIFATEA**, v. 20, n. 20, jan./jun. 2020.

COWORKING BRASIL.ORG. **Censo coworking Brasil 2019**. São Paulo: *Coworking* Brasil, 2019. Disponível em: <https://coworkingbrasil.org/censo/2019/>. Acesso em: 26 dez. 2023.

- ENAP. **Servidores ganham espaço para *coworking***. Brasília, DF: Enap, 2022. Disponível em: <https://www.enap.gov.br/pt/acontece/noticias/servidores-publicos-ganham-espaco-de-coworking>. Acesso em: 30 set. 2022.
- GUERRA, A. de L. R. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. **Revista Owl**, v. 1, n. 2, p. 149-159, 2023.
- ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Servidores ganham espaço para *coworking* no ICMBio**. Brasília, DF: ICMBio, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/servidores-ganham-espaco-para-coworking-no-icmbio>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- MEDINA, P. F. **Carreiras de Profissionais que atuam em *coworking*: entre os novos arranjos e os velhos hábitos de trabalho**. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Psicologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/168250>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- MEDINA, P. F & KRAWULSKI, E. *Coworking* como modalidade e espaço de trabalho: uma análise bibliométrica. **Cadernos de Psicologia Social do Trabalho**, v. 18, p. 181-190, 2015.
- MORALES, P. D. A. & DANDOLINI, G. A. **Tipologias da inovação no setor público: uma revisão integrativa de literatura**. Inovação no setor público: desafios e possibilidades. São Paulo: Pimenta Cultural, 2022.
- PERES, M. A. ***Coworking* público no Brasil: uma ferramenta social**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de especialização em gestão pública) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/202288>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- PORTAL DO SERVIDOR. **Habilidades para o teletrabalho**. Brasília, DF: Gov.br, [202?]. Disponível em: <https://www.gov.br/servidor/pt-br/assuntos/programa-de-gestao/boas-praticas-de-gestao-2/habilidades-por-modalidades>. Acesso em: 29 dez. 2023.
- PRESTES, J. E.; CASTRO, M. C. D. **Pesquisa sobre a implantação de *coworking* em apoio ao teletrabalho desenvolvido pelos servidores técnicos administrativos educacionais (TAE's) da reitoria do IFAM**. In: EMPRAD: ENCONTRO DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAIS EM ADMINISTRAÇÃO, São Paulo, 2022. Anais [...]. São Paulo: FEA: USP, 2022. Disponível em: <https://sistema.emprad.org.br/8/anais/arquivos/113.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- REGIS, A. L. O teletrabalho na administração pública: o que muda com a instrução normativa 44 de junho de 2020. **Ciências Gerenciais**, v. 25, n. 41, p. 66-72, 2021.
- SANTOS, M. H. S. Aspectos da governança digital da administração pública federal do Brasil sob a luz das orientações da OCDE. **Revista Tempo do Mundo**, n. 25, p. 332-355, 2021.

SWEET, S.; MOEN, P. Coworking as a Career Strategy: Implications for the Work and Family Lives of University Employees. **Innovative Higher Education**, v. 28, p. 255-272, 2004.

UDA, T. What is Coworking? A Theoretical Study on the Concept of Coworking. **Discussion Paper Series A**, v. 265, p. 1-15, 2013.

CAPÍTULO VI

NANOLUBRIFICANTE HÍBRIDO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO E ANÁLISE DA LUBRICIDADE COM TRIBÔMETRO HFRR

HYBRID NANOLUBRICANT FOR REFRIGERATION COMPRESSORS AND LUBRICITY ANALYSIS WITH HFRR TRIBOMETER

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-6

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior ¹

Thiago da Silva André ²

Matheus Antônio Pereira da Silva ³

Wertson da Silva Resende ⁴

Francisco de Assis Oliveira Fontes ⁵

Cleiton Rubens Formiga Barbosa ⁶

Ângelo Roncalli Oliveira Guerra ⁷

¹ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

² Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

³ Graduando do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁴ Graduando do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁵ Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁶ Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁷ Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

RESUMO

O desenvolvimento de nanopartículas sólidas e sua dispersão em um fluido base para melhoria das propriedades termomecânicas e intensificação dos processos de transferência de calor tem despertado muito interesse da comunidade científica e impulsionado diversos segmentos da indústria nas últimas décadas. Neste contexto, propõe-se investigar um novo nanolubrificante híbrido a partir da adição de nanopartículas de alumina (Al_2O_3) e nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) a um óleo lubrificante de polioléster (POE), originalmente desenvolvido para aplicação em compressores de refrigeração. As nanopartículas de Al_2O_3 e MWCNTs foram dispersas na proporção 50/50 em óleo POE nas concentrações de 0,10 g/L, 0,25 g/L, 0,50 g/L e 1,00 g/L. O nanolubrificante híbrido Al_2O_3 -MWCNTs/POE foi submetido à sonicação ultrassônica por sonda de imersão e agitação magnética rotativa para melhorar a estabilidade. As propriedades termofísicas foram medidas na temperatura de 50°C. O coeficiente de atrito do nanolubrificante

híbrido Al_2O_3 -MWCNTs/POE na concentração de 1,00 g/L foi ligeiramente inferior em comparação ao fluido base. No entanto, a lubricidade HFRR do nanolubrificante híbrido medida pelo WSD foi ligeiramente inferior à do óleo POE.

Palavras-chave: Nanolubrificante híbrido. Al_2O_3 . MWCNTs. Coeficiente de atrito. Lubricidade.

ABSTRACT

The development of solid nanoparticles and their dispersion in a base-fluid to improve thermomechanical properties and intensification of heat transfer processes have aroused much interest from the scientific community and boosted several industry segments in recent decades. In this context, it is proposed to investigate a new hybrid nanolubricant from the addition of nanoparticles of alumina (Al_2O_3) and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) to a polyether-lubricating oil (POE), originally developed for application in refrigeration compressors. The nanoparticles of Al_2O_3 and MWCNTs were dispersed in 50/50 ratio in POE oil at

concentrations of 0,10 g/L, 0,25 g/L, 0,50 g/L and 1,00 g/L. The hybrid nanolubricant Al₂O₃-MWCNTs/POE was subjected to ultrasonic sonication by immersion probe and rotating magnetic stirring to improve stability. The thermophysical properties were measured in the temperature of 50°C. The coefficient of friction of hybrid nanolubricant Al₂O₃-MWCNTs/POE at the

concentration of 1,00 g/L was slightly lower compared to the base fluid. However, the HFRR lubricity of the hybrid nanolubricant measured by the WSD was slightly lower than the POE oil.

Keywords: Hybrid nanolubricant. Al₂O₃. MWCNTS. Coefficient of friction. Lubricity.

1. INTRODUÇÃO

O atrito é uma das principais causas de perda de eficiência energética em sistemas mecânicos. Normalmente, os elementos da máquina falham devido ao desgaste excessivo. Portanto, uma lubrificação mais eficiente é essencial para aumentar a eficiência do uso de energia e a confiabilidade dos sistemas mecânicos, HUTCHINGS (1992).

Neste contexto, a adição de nanopartículas aos lubrificantes pode melhorar a qualidade das suas propriedades tribológicas, especialmente nos regimes de lubrificação limite e misto. A literatura relatou numerosos exemplos de características soluções tribológicas, que minimizam a fricção e o desgaste, melhoradas por uma variedade de nanopartículas usadas como aditivos lubrificantes, incluindo metais, óxidos metálicos, não metais e assim por diante.

A maioria dos estudos mostra que a adição de nanopartículas aos lubrificantes pode melhorar significativamente o desempenho da lubrificação, reduzindo tanto o atrito como o desgaste, permitindo assim uma maior capacidade de carga. Mecanismos incluindo adsorção de superfície, penetração em asperezas e reação triboquímica para reduzir o desgaste, bem como efeito de tamanho, efeito coloidal, esfoliação, película protetora e efeito de terceiro corpo para reduzir o atrito, foram propostos para explicar o desempenho superior de lubrificantes com aditivos de nanopartículas.

BONU *et al.* (2016) relata que a lubrificação com nanofluidos é uma nova abordagem para melhorar a eficiência energética de interfaces deslizantes, o que é útil para reduzir o atrito e o desgaste dos elementos da máquina. Eles estudaram a adição de óleo Polioléster (POE) com nanopartículas de óxido (SnO₂) de 25nm e concentração de 0,03mg/mL, que mostraram redução significativa no coeficiente de atrito e desgaste de até 38 e 42%, respectivamente, em comparação com o óleo POE puro. Esses pesquisadores ainda são categóricos ao afirmar que a eficiência da lubrificação depende do tamanho dos NPs, da estabilidade da dispersão e da concentração.

VAKIS *et al.* (2018) publicaram uma revisão dos mais recentes desenvolvimentos no campo da tribologia envolvendo vários fenômenos físicos, químicos e mecânicos em diferentes escalas. Eles investigaram a natureza multifísica das interações no tribo-sistema onde os seguintes tipos de fenômenos podem ocorrer na interface tribológica ou em sua vizinhança imediata: mecânicos (sólidos e fluidos), térmicos, eletromagnéticos, metalúrgicos, quânticos e outros.

ALVES *et al.* (2018) em pesquisa experimental com óleo Polialfaolefina (PAO) adicionado de nanopartículas de óxido de cobre (CuO) mostram que é possível reduzir o coeficiente de atrito ou desgaste em condições limite de lubrificação utilizando esses nanomateriais.

Existem atualmente diferentes métodos para determinar a lubricidade de óleos lubrificante disponíveis no mercado. O método de avaliação da lubricidade por meio de sonda de deslocamento alternado de alta frequência é um dos mais utilizados pelos pesquisadores.

FARIAS *et al.* (2011) relata que lubricidade é um termo qualitativo que descreve a capacidade de um fluido afetar o atrito entre superfícies sob carga e com movimento relativo, bem como o desgaste nessas superfícies. O método de lubricidade HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig*) simula o regime de lubrificação limite da curva de Stribeck para avaliar a capacidade do óleo lubrificante de reduzir o atrito e o desgaste do torque tribológico resultante da substituição do contato seco pelo contato fluido, entre duas superfícies sólidas em movimento relativo.

A presente pesquisa teve como objetivo investigar a influência da concentração de nanopartículas no coeficiente de atrito e lubricidade de um nanolubrificante híbrido composto por óleo lubrificante sintético de polioléster (POE) adicionado de alumina (Al₂O₃) e nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS DO NANOFLUIDOS HÍBRIDO

A Figura 1 mostra o óleo sintético POE 160PZ utilizado como fluido base na formulação de amostras de nanolubrificantes híbridos, objeto desta pesquisa. É fabricado pela *Danfoss* e tem sua principal aplicação na lubrificação de compressores de sistemas de refrigeração, sendo compatível com os fluidos refrigerantes R134a, R404A, R507, R407C e R410A, BARBOSA JÚNIOR (2018) e ALMEIDA (2015).

Figura 1: Características e especificações do óleo sintético POE 160PZ.

| Property | Specification | Test method |
|------------------------------|--------------------|-------------|
| Viscosity at 40 °C | 30 – 33 cSt | ASTM D 445 |
| Viscosity at 100 °C | 5.5 cSt | ASTM D 445 |
| Density at 15.6 °C | 0.989 g/ml | ASTM D 4052 |
| Colour | 200 | ASTM D 1209 |
| Pour point | -54 °C | ASTM D 97 |
| Flash point | 244 °C | ASTM D 93 |
| Dielectric strength at 25 °C | 46kV (min) | ASTM D 1816 |
| Acid value (Tan) | 0.12 mgKOH/g (max) | ASTM D 974 |

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a literatura, as nanopartículas mais utilizadas na formulação de nanofluidos simples e híbridos são nanotubos de carbono de parede simples (SWCNTs) ou múltipla (MWCNTs), óxidos de alumina ou alumínio (Al_2O_3) e óxidos de titânio (TiO_2), por apresentarem excelente propriedades termofísicas.

A Figura 2 mostra que as nanopartículas de Al_2O_3 utilizadas na formulação das amostras de nanolubrificantes híbridos, objeto desta pesquisa, são fabricadas na forma de nanopó seco pela *Sigma-Aldrich*. Os nanotubos de carbono de paredes múltiplas ou simples são muito populares nas aplicações de nanofluidos devido às suas excepcionais condutividades térmicas, em relação a outras nanopartículas existentes.

Figura 2: Características e especificações de nanopartículas de Al_2O_3 .

| Characteristics | Al_2O_3 |
|------------------------------------|-----------|
| Purity (%) | 99 |
| Color | Branca |
| Molecular mass (g/cm^3) | 101.96 |
| Average particle diameter (nm) | 20 |
| Density (Kg/m^3) | 3,89 |
| Thermal conductivity ($W/m.K$) | 36 |
| Specific heat ($J/Kg.K$) | 773 |
| Specific surface área (cm^2/g) | 138 |

Fonte: Autoria própria.

A Figura 3 mostra os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) utilizados na formulação das amostras de nanolubrificantes híbridos, objeto desta pesquisa, fabricados pela *Nanostructured & Amorphous Materials* na forma de nanopó seco através da deposição química de vapor (CVD), HOLANDA (2018) e AZEVEDO *et al.* (2017).

Figura 3: Características e especificações de nanopartículas de Al_2O_3 .

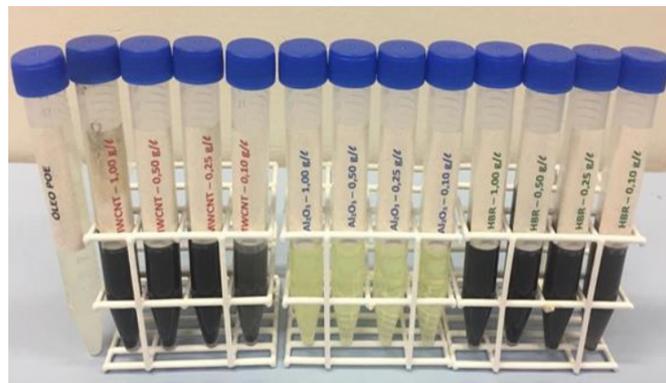
| Characteristics | MWCNTs |
|--|--------|
| Purity (%) | 97 |
| Color | Preta |
| Molecular mass (g/cm^3) | 101.96 |
| Average particle diameter (nm) | 20-40 |
| Tube length (μm) | 50 |
| Density (Kg/m^3) | 2,10 |
| Thermal conductivity ($\text{W}/\text{m.K}$) | 4000 |
| Specific heat ($\text{J}/\text{Kg.K}$) | 773 |
| Specific surface área (cm^2/g) | 223 |

Fonte: Autoria própria.

2.2. SÍNTESE DO NANOFLUIDO HÍBRIDO

O método simples e de baixo custo “two-step” foi utilizado para a síntese dos nanolubrificantes híbridos propostos na pesquisa e possui duas fases. A primeira fase compreende apenas a síntese de nanopós de alumina (Al_2O_3) e nanotubos de carbono de parede (MWCNTs), ou seja, o processo de produção das nanopartículas sólidas, BARBOSA JÚNIOR et al. (2022).

Figura 4: Amostras do fluido base e nanolubrificantes simples/híbridos.



Fonte: Autoria própria.

A segunda fase que consiste na formulação dos nanolubrificantes híbridos ou simples (Figura 4), a partir de seus constituintes (nanopartículas + fluido base) adquiridos no comércio especializado, possui a seguinte sequência de execução:

- i. Medição da massa dos nanopós: a quantidade de massa, para cada tipo de nanopartícula (Al_2O_3 e MWCNTs), correspondente à concentração em (g/L) das diferentes amostras de nanolubrificantes foi medida em balança analítica com resolução de $0,0001 \text{ g}$;
- ii. Medição do volume do fluido base: a medição do volume de 100 ml do fluido base (óleo POE 160PZ) foi realizada com micropipeta e becker graduado.

- iii. Mistura das nanopartículas sólidas no fluido base: Após a inserção das nanopartículas no fluido base, as nanopartículas (Al_2O_3 e MWCNTs) são misturadas no meio líquido (óleo POE 160PZ) com o auxílio de um bastão de vidro.
- iv. Desfragmentação de nanopartículas: para atenuar as aglomerações e melhorar a estabilidade das amostras, todos os nanolubrificantes foram sonicados por meio de ultrassom de imersão com amplitude de vibração de 10%, com duração de 1 hora.
- v. Dispersão das nanopartículas no fluido base: a etapa final da síntese do nanolubrificante foi a dispersão das nanopartículas no meio líquido (fluido base) por meio de agitador magnético rotativo, com rotação de 450 rpm e duração de 24 horas.

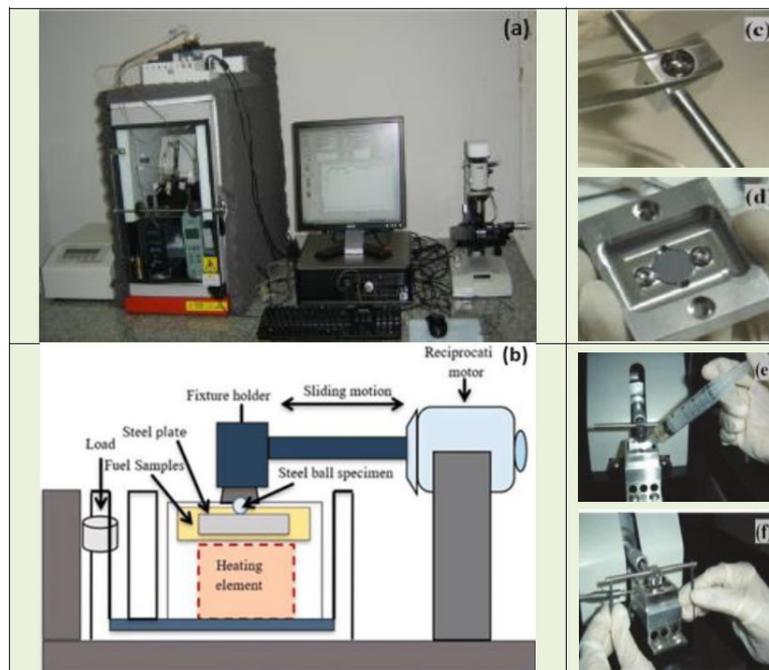
2.3. TESTE DE LUBRIFICAÇÃO HFRR

Os parâmetros do ensaio de lubricidade HFRR e as características geométricas, dimensionais e composicionais dos materiais do par tribológico esfera/disco são estabelecidos conforme ASTM D6079-99 e ISO 12156-1:1997.

Com o equipamento em funcionamento, a esfera de aço é acionada e descreve um movimento alternado de curso limitado com alta frequência, sob ação de uma carga normal pré-estabelecida no ensaio, e o disco de ensaio é fixado em uma pequena cuba contendo a amostra do óleo lubrificante.

A Figura 5 agrupa diversas fotos e o diagrama esquemático do tribômetro HFRR do laboratório de Tribologia e Integridade Estrutural da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em Natal/Brasil, que foi utilizado para determinar a lubricidade dos nanolubrificantes neste trabalho de pesquisa. FAZAL *et al.* (2021), ALVES *et al.* (2016), FARIAS *et al.* (2014), ALVES *et al.* (2013), e FARIAS *et al.* (2011).

Figura 5: Ensaio HFRR: (a) imagem do equipamento (b) Diagrama esquemático (c, d) Par bola/disco de aço e suportes (e, f) aplicação de nanolubrificante e carga na unidade HFRR.



Fonte: Autoria própria.

A esfera de aço duro desliza contra o disco de aço macio com curso de 1,00 mm, frequência de 20 Hz e velocidade de deslizamento de 0,01 m/s durante 1 hora.

A esfera e o disco em contato são totalmente submersos em 2,0 ml de lubrificante com carga normal de 2N. Os testes foram realizados em triplicata. A temperatura do lubrificante foi mantida em 50°C.

O teste de lubricidade HFRR consiste basicamente em deslizar a superfície de um corpo de prova esférico sobre a superfície plana estacionária do disco de teste. O desempenho de lubrificação de cada nanolubrificante testado foi analisado em função dos valores médios do coeficiente de atrito e da área de desgaste da esfera de aço (WSD).

As superfícies do par tribológico esfera-disco foram imersas integralmente na amostra de fluido de teste (nanolubrificantes híbridos com diferentes concentrações de nanopartículas de alumina sólida (Al_2O_3) e nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) ou óleo POE).

O teste se desenvolve automaticamente e os parâmetros de desempenho do HFRR como coeficiente de atrito, espessura do filme do fluido de teste e temperatura de contato são exibidos, em tempo real, na tela do equipamento computadorizado de aquisição de dados.

Após o término do teste de lubricidade HFRR, a esfera de aço é removida e limpa para medição em microscópio óptico com ampliação de 100 × da cicatriz de desgaste da esfera de aço com base na média dos diâmetros nas direções (X e Y).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os testes de lubricidade *versus* tempo foram realizados de forma totalmente automática e a programação foi realizada com auxílio do *software* dedicado do tribômetro HFRR da marca PCS *Instruments*.

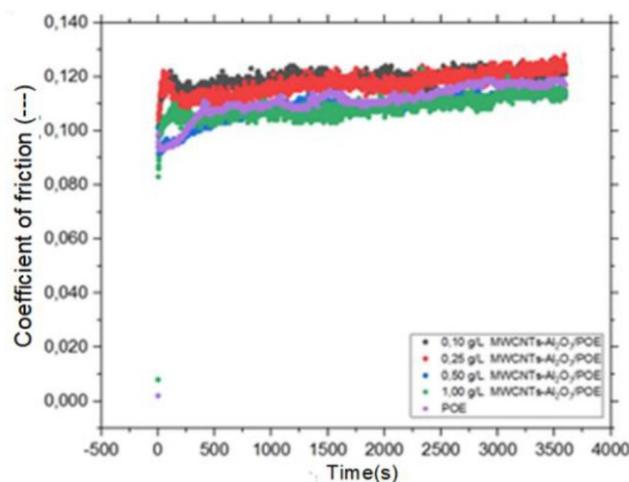
O coeficiente de atrito e a espessura do filme foram coletados a uma taxa de 1 segundo através do sistema de aquisição de dados do próprio instrumento e a faixa de desgaste (WSD) da esfera foi medida com auxílio de um microscópio óptico com ampliação de 100X.

O coeficiente de atrito e o WSD foram os parâmetros utilizados para avaliar a lubricidade. A automação do teste de lubricidade HFRR possibilitou a reprodução do teste igualmente para todas as amostras de nanolubrificantes, sem interferência do operador, permitindo aumentar o nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

A Figura 6 mostra que o coeficiente de atrito *versus* tempo assume a forma de uma “nuvem” de pontos. Esse aspecto de nuvem é causado pela quantidade de pontos representados no gráfico por cada amostra de nanolubrificante testada. Foram obtidas 3.600 leituras de coeficiente de atrito durante o teste de 1 hora (uma leitura a cada segundo).

Na Figura 6 é facilmente observado que em todos os testes de lubricidade do HFRR, o coeficiente de atrito dos nanolubrificantes apresentou tendência a crescer ao longo do tempo.

Figura 6: Coeficiente de atrito do óleo POE e nanolubrificantes híbridos com concentração de 0,10 g/L, 0,25 g/L, 0,50 g/L, 1,00 g/L *versus* tempo.



Fonte: Autoria própria.

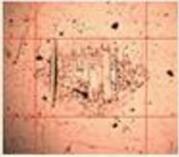
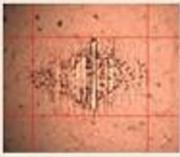
Ainda, nos primeiros segundos do teste, a característica de corrida, em que os valores do coeficiente de atrito aumentam de zero e passam por uma fase de instabilidade no início do teste (maior faixa de nuvens).

Comparando o coeficiente de atrito dos nanolubrificantes híbridos e do óleo POE, nos gráficos da Figura 6, pode-se observar praticamente ao longo do teste que o nanolubrificante híbrido com concentração de 1,00 g/L apresenta valores um pouco menores que os do fluido base.

Os testes de lubricidade HRFF do óleo POE e dos nanolubrificantes foram realizados em triplicado para aumentar a confiabilidade dos resultados. A Figura 7 mostra as menores cicatrizes de desgaste (WSD) das esferas obtidas nos testes de lubricidade HFRR de cada nanolubrificante e do fluido base.

O nanolubrificante híbrido apresentou o menor WSD de 172 μm na concentração de 0,25 g/L. O óleo POE apresentou WSD 128 μm . Este WSD foi o melhor valor de desgaste da esfera e não foi superado por nenhum nanolubrificante submetido ao teste de lubricidade nas mesmas condições.

Figura 7: Diâmetro da cicatriz de desgaste do teste de lubricidade HFRR de nanolubrificantes híbridos em diferentes concentrações de nanopartículas.

| 0,10 | 0,25 | 0,50 | 1,00 |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 216 μm , 153 μm WSD 185 μm | 222 μm , 122 μm WSD 172 μm | 204 μm , 141 μm WSD 173 μm | 222 μm , 149 μm WSD 186 μm |

Fonte: Autoria própria.

4. CONCLUSÕES

Ao final desta pesquisa sobre o desenvolvimento de um novo nanolubrificante híbrido para aplicação em compressores de refrigeração e avaliação de lubricidade utilizando um tribômetro HFRR, pode-se concluir que:

- i. A preparação do nanolubrificante híbrido proposto pelo método de “two-step” utilizando técnicas de sonicação ultrassônica de imersão e agitação magnética de partículas suspensas proporcionou boas características de estabilidade, retardando a

aglomeração e reduzindo a sedimentação das nanopartículas no fluido base, como pôde ser observado através do método de sedimentação por inspeção visual.

- ii. O teste de lubricidade no tribômetro HFRR é realizado de forma totalmente automática, sem interferência do operador, garantindo maior nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.
- iii. No teste de lubricidade HFRR, o nanolubrificante híbrido com concentração de 1,0 g/L apresentou menor coeficiente de atrito e diâmetro de taxa de desgaste (WSD) da esfera maior em comparação ao óleo sintético POE.
- iv. Sob condições de teste de lubricidade semelhantes em um tribômetro HFRR, o óleo sintético POE 160PZ (fluido base) apresentou um diâmetro de desgaste de esfera (WSD) menor do que todos os nanolubrificantes híbridos testados.
- v. Sob condições semelhantes de teste de lubricidade em um tribômetro HFRR, o nanolubrificante híbrido (Al_2O_3 -MWCNTs/POE) com concentração de 1,00 g/L apresentou um coeficiente de atrito ligeiramente menor quando comparado ao óleo sintético POE 160PZ.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar agradecimentos à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, MUHAMMAD MUJTABA & MASJUKI, H.H. & KALAM, M. A. & NOOR, FAHAD & FAROOQ, MUHAMMAD & ONG, HWAI CHYUAN & GUL, MUSTABSHIRHA & SOUDAGAR, MANZOORE ELAHI & BASHIR, SHAHID & FATTAH, I. M. RIZWANUL & RAZZAQ, LUQMAN. (2020). Effect of Additivized Biodiesel Blends on Diesel Engine Performance, Emission, Tribological Characteristics, and Lubricant Tribology. *Energies*. 13. 3375. 10.3390/en13133375.
- ALMEIDA, I.M.G., (2015). Análise tribo-termodinâmica da aplicação de nanopartículas de Al_2O_3 como aditivo lubrificante em compressor hermético de refrigeração. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 178p.
- ALVES, S.M; MELLO, V.S.; FARIA, E.A.; CAMARGO, A.P.P. (2016). Nanolubricants developed from tiny CuO nanoparticles. *Tribology International*, Vol.100,263-271,ISSN 0301-679X <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.01.050>

- ALVES, S. M., BARROS, B. S., TRAJANO, M. F., RIBEIRO, K. S. B., & MOURA, E. J. T. I. (2013). Tribological behavior of vegetable oil-based lubricants with nanoparticles of oxides in boundary lubrication conditions. *Tribology international*, 65, 28-36.
- ASTM standard D6079 (2004). Standard test method for evaluating lubricity of diesel fuels by the high-frequency reciprocating rig (HFRR). ASTM – American Standard Test Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- AZEVEDO, V. F.; ALMEIDA, I. M. G.; SOUSA, E. H. V.; FONTES, F. DE A. O.,; BARBOSA, C. R. F. (2017). Caracterização de nanofluidos para utilização em compressores de refrigeração: determinação da viscosidade dinâmica, condutividade térmica e estabilidade. *HOLOS*, 8, 36–46. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3802>
- AWANG, MUHAMAD SHARUL NIZAM & MOHD ZULKIFLI, NURIN WAHIDAH & ABBAS, MUHAMMAD MUJTABA & ZULKIFLI, SYAHIR & MOHD YUSOFF, MOHD NUR ASHRAF & AHMAD, MUHAMMAD HAZWAN & DAUD, WAN. (2020). Effect of blending local plastic pyrolytic oil with diesel fuel on lubricity. 143-157.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F., (2018). Estudo experimental de nanofluido híbrido Al₂O₃-MWCNTs/POE. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 95p.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F; ANDRÉ, THIAGO DA SILVA; FONTES, FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA; GUERRA, A. R. O. ; BARBOSA, C.R.F. (2022). Experimental investigation of thermal conductivity of hybrid nanofluid MWCNTs-AL₂O₃/POE. In: MERCOFRIO – 130 Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, Porto Alegre.
- BONU, VENKATARAMANA; DAS, ARINDAM; SITARAM, DASH; TYAGI, ASHOK KUMAR. (2016). Enhanced Lubricity of SnO₂ Nanoparticles Dispersed Polyolester Nanofluid. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 55. 10.1021/acs.iecr.5b03506.
- DANFOSS. (2015) Overview of oil types. Technical product news/ Commercial compressors, Engineering tomorrow. FRCC.EN..027.A4.02.
- FARIAS, A. M., SANTANA, J. S., OLIVEIRA FILHO, M. F., SANTANA, J. S., BARBOSA, C. R. F., MEDEIROS, J. T. N. (2011). Os combustíveis verdes do brasil - avaliação da lubricidade do biodiesel B5 e óleos de mamona e coco. *HOLOS*, 3, 3–17. <https://doi.org/10.15628/holos.2011.453>.
- FARIAS, ALINE & MEDEIROS, JOÃO & ALVES, SALETE. (2014). Micro and Nanometric Wear Evaluation of Metal Discs Used on Determination of Biodiesel Fuel Lubricity. *Materials Research*. 17. 89-99. 10.1590/S1516-14392014005000101.
- FAZAL, M.A., SUNDUS, F., MASJUKI, H.H., SAEED RUBAIEE, QUAZI, M.M. (2021). Tribological assessment of additive doped B30 biodiesel-diesel blend by using high frequency

reciprocating rig test, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 48, 101577, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101577>

HOLANDA, R.A., (2018). Avaliação experimental de nanolubrificante híbrido composto de Al₂O₃ e grafite. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 130p.

HUTCHINGS, I.M. (1992). Tribology: friction and wear of engineering materials. Department of Materials Science and Metallurgy –University of Cambridge, Ed. Edward Arnold,

VAKIS, ANTONIS; YASTREBOV, VLADISLAV; SCHEIBERT, JULIEN; MINFRAY, CLOTILDE; NICOLA, LUCIA; DINI, DANIELE; ALMQVIST, ANDREAS; PAGGI, MARCO; LEE, S.; LIMBERT, GEORGES; MOLINARI, JEAN-FRANÇOIS; ANCIAUX, GUILLAUME; AGHABABAEI, RAMIN; ECHEVERRI RESTREPO, SEBASTIAN; PAPANGELO, ANTONIO; CAMMARATA, ANTONIO NICOLINI, P. & PUTIGNANO, CARMINE & CARBONE, GIUSEPPE & MÜSER, MARTIN. (2018). Modeling and simulation in tribology across scales: An overview. Tribology International.125. 10.1016/j.triboint.2018.02.005.

CAPÍTULO VII

RETROFITTING DE SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE PISTA DE GELO DIDÁTICA PARA OPERAÇÃO COM FLUIDO SECUNDÁRIO

RETROFITTING OF DIDACTIC ICE RACK REFRIGERATION SYSTEM FOR OPERATION WITH SECONDARY FLUID

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-7

Wertson da Silva Resende¹
Cleiton Rubens Formiga Barbosa²
Sandi Itamar Schafer de Souza³
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior⁴
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra⁵
Álvaro Augusto Soares Lima⁶

¹ Graduando do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

³ Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

⁵ Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁶ Professor Efetivo do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

RESUMO

Dentre os sistemas de refrigeração mais estudados nas bibliografias relacionadas a Sistemas Térmicos estão os ciclos de refrigeração à compressão de vapor. Aplicados na geração artificial de *ice-rinks* constituem oportunidade interessante para o desenvolvimento do tema nos cursos de engenharia. Neste trabalho apresentam-se as etapas de adequação de uma máquina didática geradora de uma pista de gelo projetada para operação inicial com ciclo de refrigeração a compressão de vapor simples com R22 em expansão direta numa serpentina de cobre, e que passará a operar com um trocador de calor tipo tubo duplo e circulação bombeada de fluido secundário na serpentina geradora. Objetiva-se ampliar as possibilidades de abordagem dos conhecimentos propostos por Resende *et al.* (2024) nos trabalhos “Projeto de sistema de refrigeração didático para geração de uma pista de gelo - ice rink”, partes 1 e 2. Parte-se das informações do *ice-rink* didático e segue-se com a descrição dos procedimentos para o dimensionamento do sistema secundário e do permutador de calor em tubo duplo que irá operar com o par refrigerante R22 x etanol 35%. Na seção final, conclui-se com a apresentação do desenho tridimensional do trocador e suas principais características como diâmetros interno e externo, comprimento total, dentre outras.

Palavras-chave: Pista de gelo. Refrigeração. Projeto. Trocador tubo duplo. Fluido secundário.

ABSTRACT

Among the most studied refrigeration systems in the bibliographies related to Thermal Systems are the vapor compression refrigeration cycles. Applied to the generation of artificial ice rinks, they are an interesting opportunity for developing the topic in engineering courses. In this work we present the stages of adapting a didactic machine that generates an didactic ice rink designed for initial operation with a vapor compression refrigeration cycle with R22 in direct expansion in a copper coil, and which will starts to operate with a heat exchanger double tube type and pumped circulation of secondary fluid in the generating coil. The objective is to expand the possibilities of approaching the knowledges proposed by Resende *et al.* (2024) in the works “Didactic refrigeration system project for generating an ice rink – Pista de Gelo”, parts 1 and 2. It starts from information from the ice-rink tutorial and follows with a description of the procedures for sizing the secondary system and the double-tube heat exchanger that will operate with the refrigerant pair R22 x ethanol 35%. The final section concludes with the presentation of the three-dimensional design of the exchanger and its main characteristics such as internal and external diameter, total length, among others.

Keywords: Ice rink. Refrigeration. Project. Double tube exchanger. Secondary fluid.



1. INTRODUÇÃO

Os *Ice rinks* são considerados como quaisquer camadas niveladas de gelo, constituídas de forma natural ou geradas artificialmente por meio de sistemas de refrigeração, e que se destinam à realização de atividades de lazer e esportivas, tais quais a patinação recreativa, artística, hóquei, corridas sobre patins, esportes de velocidade, acrobacias até competições olímpicas como biatlo, *bobsled*, combinado nórdico, *curling* e outras modalidades possíveis.

Figura 1: Pista de gelo, jogo Sweden vs Finland pelo 2024's Ice Hockey World Championship.



Fonte: Jurewicz(2024).

As pistas de gelo artificiais podem ser instaladas em ambientes abertos, ao ar livre, ou fechados tais como ginásios, shoppings, arenas, auditórios e coliseus. Nelas o sistema de geração assume diversas configurações, sendo as mais comuns aplicações de sistemas de expansão indireta, com fluidos secundários. O projeto inicial da pista de gelo - *ice rink* - conforme explicitado por Resende *et al.*(2024b), tem destinação didática em aulas práticas e irá compor, com sua fabricação e montagem, a estrutura do Laboratório de Energias do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN.

A oportunidade de adequação dessa máquina, justifica-se pela constituição de uma alternativa proposta por Resende *et al.*(2024b) nas considerações acerca de sistemas a serem implementados, com objetivo de ampliar as possibilidades de abordagem, no laboratório de ensino de energias da UFRN, dos mais diversos temas abarcados no processo de dimensionamento e seleção dos componentes mecânicos do sistema, sua fabricação, montagem, princípios físicos aplicados na operação e ainda em sua manutenção. Contudo, este trabalho limita-se apenas ao objetivo de apresentar os procedimentos para adequação

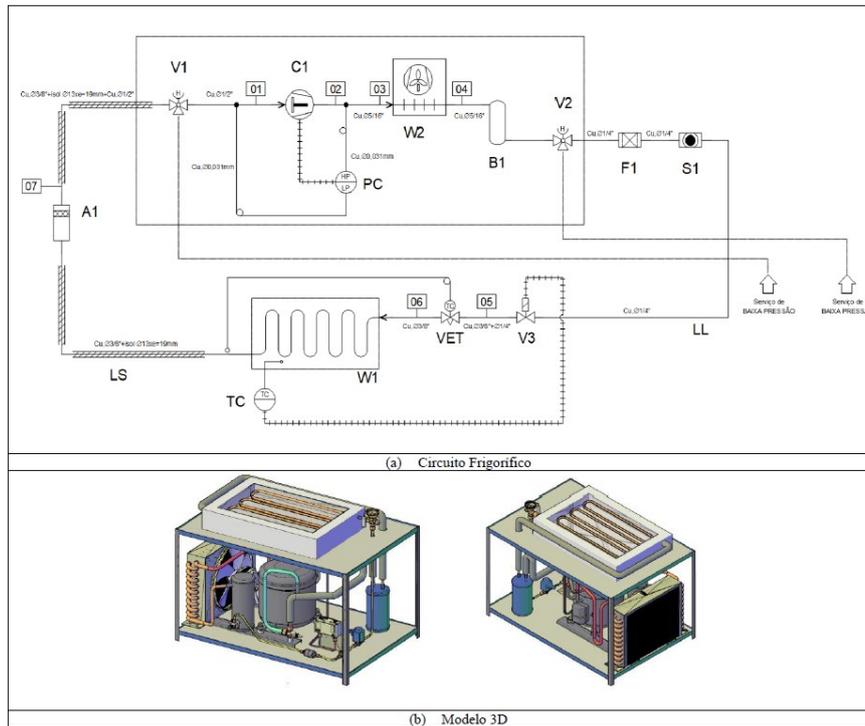
do circuito na perspectiva de dimensionamento do circuito com o fluido secundário, considerando a utilização da serpentina geradora da pista, e aplicação do trocador de calor que será a interface entre o circuito de refrigeração primário e o secundário, neste definido como permutador de calor de tubo duplo.

O projeto inicial foi proposto, didaticamente, para operar com sistema de refrigeração a compressão de vapor simples em expansão direta nas serpentinas geradoras da pista de gelo, operando com fluido refrigerante R22. A configuração de expansão direta, embora apresente-se como mais eficiente, nem sempre pode ser aplicada em função da análise de aspectos de segurança e econômicos principalmente (Caliskana e Hepbaslib, 2010). A serpentina de geração da pista nesses casos acaba sendo muito extensa e preenchê-la com o fluido refrigerante e além de consideravelmente dispendioso pode representar riscos à saúde dos usuários em caso de vazamentos, a depender do tipo de fluido e sua concentração no momento de um vazamento. Desta forma, a aplicação de fluido secundário se concretizou como uma solução muito comum nesse tipo de sistema de refrigeração.

A partida é dada com as informações dispostas para a máquina com expansão direta, sabendo que o circuito frigorífico foi dimensionando para uma capacidade total estimada em 430Kcal/h (500,09W) com a unidade condensadora operando com temperatura de evaporação -15°C (258,15K), média pressão de retorno (*Medium Back Pressure* – MBP). A carga térmica estimada para a geração de gelo, ressalvadas todas as condições expostas por Resende et al.(2024a) foi de 396,56Kcal (461,2W) na serpentina dimensionada.

A configuração inicial do circuito frigorífico, indicação dos componentes selecionados e sua representação tridimensional é mostrada na Figura 2, conforme Resende *et al.*(2024a), e deverá ser adequada para operar com fluido secundário.

Figura 2: (a) Diagrama do circuito frigorífico, e (b) Representação, vistas 3D, da máquina inicial.



Fonte: Resende *et al.* (2024b).

As especificações, características básicas e legenda de TAG'S (etiquetas de identificação) associadas aos componentes do sistema dispostos no diagrama do circuito frigorífico inicial foram apresentadas por Resende *at al.* (2024b), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Componentes do sistema a compressão de vapor com expansão direta.

| TAG | NOME | MODELO | FABRICANTE | ENTRADA | SAÍDA |
|-----|---|------------------------------|------------|--------------|--------|
| V1 | Válvula de serviço 3 vias - baixa pressão | 3/8"(M)x3/8" (M)x1/4" (M)SAE | Elgin | 3/8"R | 3/8"R |
| C1 | Compressor alternativo hermético | TCM2020E | Elgin | 3/8"S | 1/4"S |
| W2 | Condensador aletado – Convec. forçada | 45CONDEA2775 | Elgin | 5/16"S | 5/16"S |
| B1 | Tanque de líquido | 259110 1/4HP-700ml | Elgin | ¼"S | 7/8"R |
| V2 | Válvula de serviço 3 vias de alta pressão | 7/8"(F)x1/4"(M)x1/4"(M)SAE | Elgin | 7/8"R | 1/4"R |
| F1 | Filtro secador | DML 032 | Danfoss | 1/4"R | 1/4"R |
| S1 | Visor de líquido c/ indicador de umidade | SGP 6s | Danfoss | 1/4"R | 1/4"R |
| V3 | Válvula solenóide NF | EVR 3 v2 | Danfoss | 1/4"R | 1/4"R |
| VET | Válvula de expansão termostática EI | TXV:T2-X | Danfoss | 3/8"R | 1/2"R |
| W1 | Evaporador - Serpentina tubular | ~3,7m x 3/8" | - | 3/8"S | 3/8"S |
| A1 | Acumulador de sucção | ASD015H04 1/2 in | Danfoss | ½"S | ½"S |
| TC | Controlador de temperatura | MT-512E 2HP | FullGauge | NA | NA |
| PC | Pressostato conjugado - alta e baixa | KP15 SPDT+LP | Danfoss | 1/4"R(L e H) | NA |

Fonte: Resende *et al.* (2024b).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

De posse das informações preliminares, considera-se iniciar a adequação da máquina a partir da utilização da mesma serpentina geradora da pista aplicada com expansão direta como trocador de calor do sistema secundário com passagem do fluido secundário sob mesma temperatura. Logo, a elaboração de um novo diagrama de circuito frigorífico deve ser realizada para definição mais clara das condições da adequação do sistema proposto.

Em seguida, realiza-se a revisão da carga térmica inicial do sistema definida considerando o resfriamento e congelamento de água e o resfriamento de concreto. Para a adequação, segundo Tutumlu *et. al* (2018), à carga térmica inicial deve ser adicionada a quantidade de calor necessária para resfriar o refrigerante secundário. Desconsiderando as perdas, optou-se pela aplicação de um reservatório capaz de armazenar o refrigerante secundário (RS) recolhido, arbitrando seu volume total. Tal reservatório deve permitir o recolhimento total de maneira a permitir a realização de quaisquer atividades de manutenção sem perdas significativas de volume do RS. A carga de refrigerante secundário poder ser obtida aplicando a equação,

$$Q_{RS} = m_{RS} \cdot [c_{p,RS} \cdot (T_{RS,i} - T_{RS,f})] \quad (1)$$

Onde Q_{RS} é a carga de RS, m_{RS} é a massa de RS, $T_{RS,i}$ e $T_{RS,f}$ são as temperaturas inicial e de processo do RS.

Desta forma a carga total, desprezadas as cargas provenientes do ambiente através superfície do gelo, laterais e base da pista (isolamento térmico), conforme Resende et al.(2024a), pode ainda ser obtida a partir da equação,

$$Q_{i,total} = Q_i + Q_{RS} \quad (2)$$

Onde $Q_{i,total}$ é a carga total considerada no trocador, Q_i equivale a 396,56kcal determinado para a máquina inicial.

Sabe-se que a carga térmica de geração da pista deverá ser transferida totalmente ao sistema de circulação do RS (Karampour, 2011), e que esse sistema tem sua capacidade em dependência direta da vazão mássica da solução. Logo, o passo seguinte é selecionar a bomba de circulação da solução RS, definindo as propriedades necessárias para o dimensionamento. A obtenção dessas propriedades se deu com auxílio do *software Coolpack*(2010), inicialmente buscando a densidade do fluido escolhido.

Considerando que o sistema é didático, com dimensões reduzidas e de baixa capacidade, sua vazão também será baixa em comparação com a maior parte das bombas comerciais disponíveis no mercado. Adotar-se-á uma bomba que tenha ponto de operação com vazão entre 50 e 200 litros por hora e 0,5 a 1,0 metros de coluna d'água. Assim, podemos determinar a vazão mássica escrevendo (STOECKER E JABARDO,2002),

$$\dot{m}_{RS} = \frac{G \cdot \rho_{RS}}{3,6 \times 10^6} \quad (3)$$

Onde \dot{m}_{RS} é a vazão mássica de RS em Kg/s, G é a vazão da bomba em l/h (litros por hora), ρ_{RS} é a densidade do RS em Kg/m³, e $3,6 \times 10^6$ é o fator para conversão de unidades em l.s/m³h.

Sabendo que para o comprimento de 3,67m de tubo novo de cobre a rugosidade equivalente é 0,0015mm, segundo Çengel(2009), que o diâmetro hidráulico do tubo de ½" (12,7mm) de espessura 1/32"(0,79mm) é 11,12mm, e de posse da vazão mássica a ser calculada pela Equação 3, obter-se-á a através do *software Coolpack* (2010) a queda de pressão na serpentina geradora da pista.

A verificação do coeficiente convectivo (h) para a serpentina geradora da pista se faz necessária, e pode ser realizada sabendo que o escoamento será laminar completamente desenvolvido, em circuito fechado, e o número de Nusselt (Nu) para tal, conforme Çengel (2012), pode ser considerado $Nu=4,36=(h \cdot Dh)/k$, com Dh sendo o Diâmetro hidráulico da serpentina e k a condutividade térmica do RS.

Para passar ao dimensionamento do permutador de calor de tubo duplo ainda é necessário determinar a temperatura de saída da solução ao passar pela serpentina de geração da pista. Esta será a temperatura de entrada da solução no trocador tubo duplo e, desconsiderando o ganho de calor pelo isolamento através da tubulação, podemos determiná-la escrevendo,

$$T_e = T_i + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{RS} \cdot c_{p,RS}} \quad (4)$$

Onde T_e é a temperatura de saída do etanol em °C, T_i é Temperatura de entrada do etanol em °C, \dot{Q} é a carga de geração da pista no tempo de 1 hora em W para o fluido em Kg/m³, e $c_{p,RS}$ é o calor específico do RS em J/Kg°C.

O trocador de tubo duplo será aplicado em contrafluxo, com RS passando pelo anular e o fluido refrigerante R22 em expansão pelo tubo central, trocador de calor tubo duplo

concêntrico. Considerando o diâmetro de saída da válvula de expansão termostática – VET – optou-se, inicialmente, por confeccionar o trocador com tubo central em mesmo diâmetro e selecionar o tubo que formará no conjunto o anular considerando a vazão mássica determinada para o etanol.

Definidos os diâmetros, determinamos o diâmetro hidráulico do espaço anular que será dado por,

$$D_h = D_o - D_i \quad (5)$$

Onde D_h é o diâmetro hidráulico em m (metros), D_o o diâmetro externo menos duas vezes a espessura em m, e D_i é o diâmetro externo do tubo central em m.

Sabendo, de acordo com Çengel (2009), que o escoamento anular está associado a dois números de Nusselt, um na superfície interna e outro na superfície externa do tubo e definem-se,

$$Nu_i = \frac{h_i \cdot D_h}{k} \quad \text{e} \quad Nu_o = \frac{h_o \cdot D_h}{k} \quad (6)$$

Onde Nu_i e Nu_o são respectivamente os números de Nusselt sobre a superfície interna e externa do espaço anular adimensional, h_i e h_o são os correspondentes coeficientes convectivos sobre a superfície interna e externa do espaço anular em $W/m^2.K$, e k é a condutividade térmica do fluido em $W/m.K$.

Os números de Nusselt para um caso de escoamento turbulento completamente desenvolvido são aproximadamente iguais, e para o caso, escoamento laminar completamente desenvolvido com uma superfície isotérmica e outra adiabática podem ser obtidos, segundo Kays e Perkins apud Çengel (2009), através da seguinte tabela,

Tabela 2: Números de Nusselt para escoamento laminar completamente desenvolvido em um espaço anular com superfície isotérmica e outra adiabática.

| D_i/D_o | Nu_i | Nu_o |
|-----------|--------|--------|
| 0 | - | 3,66 |
| 0,05 | 17,46 | 4,06 |
| 0,10 | 11,56 | 4,11 |
| 0,25 | 7,37 | 4,23 |
| 0,50 | 5,74 | 4,43 |
| 1,00 | 4,86 | 4,86 |

Fonte: Çengel (2009).

A fim de melhorar a precisão dos números de Nusselt a partir dessas relações para escoamento anular, Petukhov e Roizen apud Çengel (2009), recomendam aplicar os fatores de correção quando uma das paredes é adiabática e a transferência de calor ocorre através da outra,

$$F_i = F_o = 0,86 \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{-0,16} \quad (7)$$

Onde F_i e F_o são fatores de correção dos números de Nusselt quando a parede externa é adiabática e quando a parede interna é adiabática, respectivamente.

Conhecidos os números de Nusselt, pode-se determinar os coeficientes convectivos aplicando as equações (6) e na sequência será possível determinar as áreas para os tubos interno e externo do trocador, considerando o número de unidades de transferência – NTU – máximo, igual ou aproximadamente 5, escrevendo,

$$A_s = \frac{NTU \cdot \dot{m} \cdot c_p}{h}; \quad NTU \approx 5 \quad (8)$$

Onde A_s é a área da superfície do tubo em m^2 , NTU é o número de unidades de transferência adimensional. É possível então determinar o comprimento das tubulações do trocador de tubo duplo,

$$L = \frac{A_s}{\pi \cdot D} \quad (9)$$

Onde L é o comprimento da tubulação do trocador de tubo duplo em m, e D é o diâmetro da tubulação em m.

Com base na lei de Newton do resfriamento (Zhou et al.,2021), a taxa de transferência de calor a partir de ou para um escoamento em um tubo pode ser expressa como,

$$\dot{Q} = h \cdot A_s \cdot \Delta T_{méd} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_m)_{méd} \quad (10)$$

Onde h é o coeficiente médio de transferência de calor por convecção, A_s é a área da superfície do tubo em m^2 , $\Delta T_{méd}$ é alguma diferença de temperatura média entre o fluido e a superfície.

Para o caso da temperatura da superfície (T_s) constante, em tela, a $\Delta T_{méd}$ pode ser expressa aproximadamente pela diferença média aritmética de temperatura entre a superfície do tubo e o fluido, logo $\Delta T_{méd} \approx \Delta T_{ma} = (\Delta T_i - \Delta T_e)/2 = T_s - T_b$ com $T_b = (T_i + T_e)/2 =$ Temperatura média da massa de fluido. Contudo é preciso notar que essa definição é uma suposição de que a temperatura média do fluido varia linearmente ao longo do trocador,

o que quase nunca é o caso quando a temperatura da superfície é constante. O balanço de energia para um volume de controle diferencial aplicado ao caso pode ser dado por,

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot dT_{méd} = h \cdot (T_s - T_m)_{méd} \cdot dA_s \quad (11)$$

Reorganizando a Equação (11), integrando de $x=0$ (onde $T_m = T_i$, na entrada do tubo) a $x=L$ (onde $T_m = T_e$, na saída do tubo), e aplicando uma exponencial em ambos termos da equação resultante, chega-se a

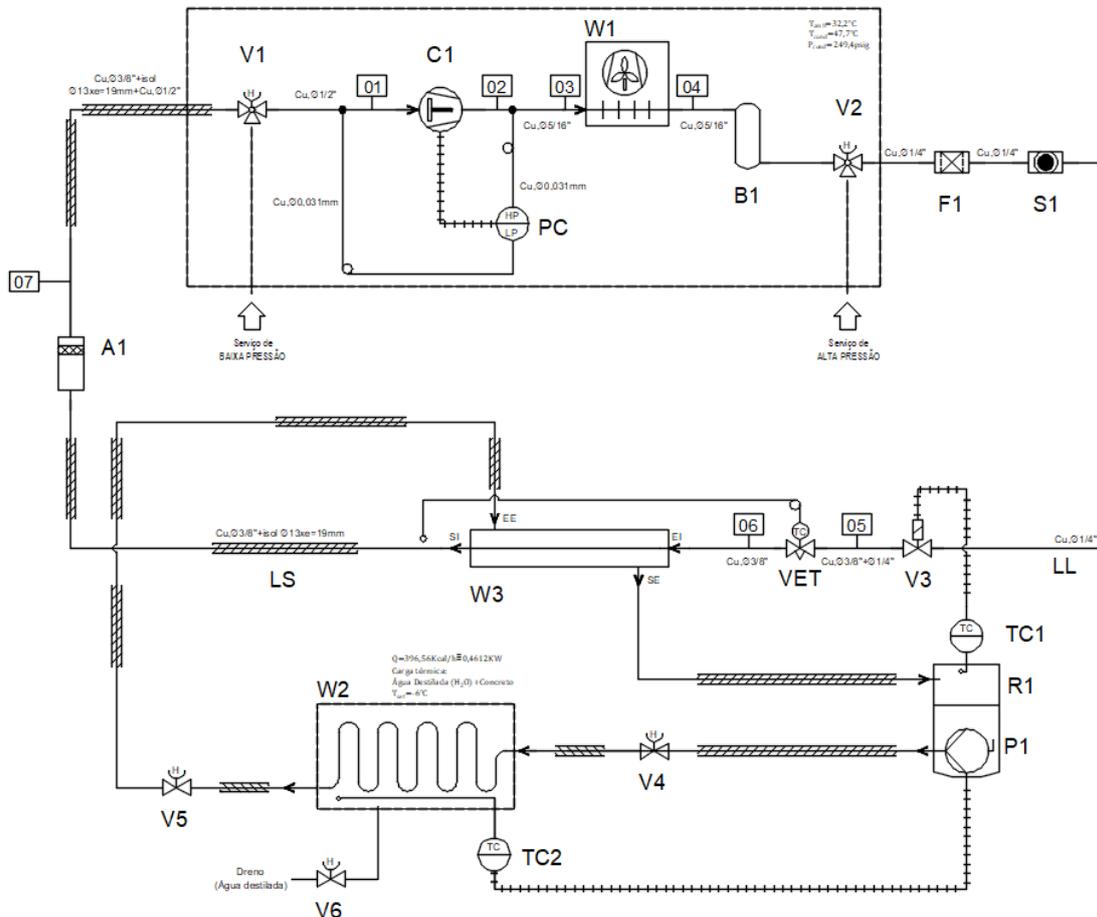
$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp(-h \cdot A_s / \dot{m} \cdot c_p) \quad (12)$$

De acordo com Çengel (2009), essa equação pode ser aplicada para determinar a temperatura média em qualquer x , substituindo A_s por $p \cdot x$ sendo p o perímetro da seção transversal em x .

3. RESULTADOS

O novo circuito frigorífico com a inserção do trocador de calor de tubo duplo, bomba circulação do RS e serpentina geradora da pista observou a configuração disposta na Figura 3.

Figura 3: Diagrama do circuito frigorífico com bombeamento de fluido secundário definido.



Fonte: Autor (2024).

Com a readequação do diagrama do circuito frigorífico, a nova legenda de identificação dos componentes deve incluir os itens apresentados conforme Tabela 2.

Tabela 2: Identificação dos componentes inclusos após readequação do circuito frigorífico.

| TAG | Nome | Modelo | Fabricante | Entrada | Saída |
|-----|--|-------------------|------------|-----------|-----------|
| R1 | Reservatório de refrigerante secundário | Próprio | - | a definir | a definir |
| TC1 | Controlador de temperatura do RS | MT-512E 2HP | FullGauge | NA | NA |
| TC2 | Controlador de temperatura da superfície | MT-512E 2HP | FullGauge | NA | NA |
| V4 | Válvula Manual de passagem | Poliestireno 10mm | - | 10mm S | 10mm S |
| V5 | Válvula Manual de passagem | Poliestireno 10mm | - | 10mm S | 10mm S |
| V6 | Válvula Manual de passagem | Poliestireno 10mm | - | 10mm S | 10mm S |
| W2 | Serpentina tubular geradora da pista | ~3,7m x 3/8" | - | 3/8"S | 3/8"S |
| W3 | Trocador de calor tubo duplo | Concêntrico | - | a definir | a definir |

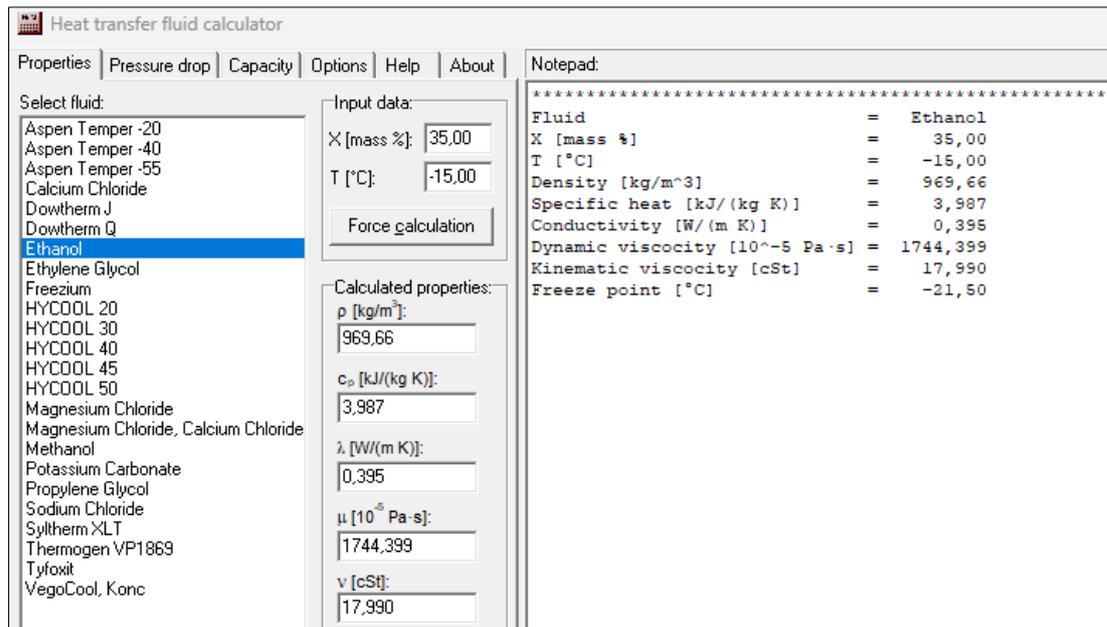
Fonte: Autor (2024).

Optou-se pela aplicação do fluido refrigerante secundário etanol, considerando sua concentração para a temperatura de -15°C (258,15K) em 35%. A carga térmica inicial de refrigerante secundário foi obtida a partir da Equação (1) sabendo que para o reservatório R1 determinado foi arbitrado volume de 0,75 litros.

Utilizando o módulo *Heat Transfer Fluids Calculator do Coolpack* (2010), aplicado para determinação de propriedades de fluidos secundários em sistemas de transferência de calor, ao entrar com os valores de $x=35\%$ de concentração em massa sob temperatura de -15°C (258,15K) para o fluido secundário "*Ethanol*", obteve-se suas propriedades conforme indicação da figura 4.

Logo, a massa de RS considerada foi aproximadamente 0,73Kg, podendo esta ser recolhida totalmente no reservatório. A quantidade de calor de contribuição à carga térmica inicial foi determinada em 136,86KJ que corresponde a 32,71 Kcal.

Figura 4: Recorte de tela do Coolpack - Heat Transfer Fluids Calculator, com as propriedades do etanol 35% para temperatura de processo.



Fonte: Coolpack (2010).

Figura 5: Bomba de circulação de fluido secundário.



Fonte: Amicus Inovações (2024).

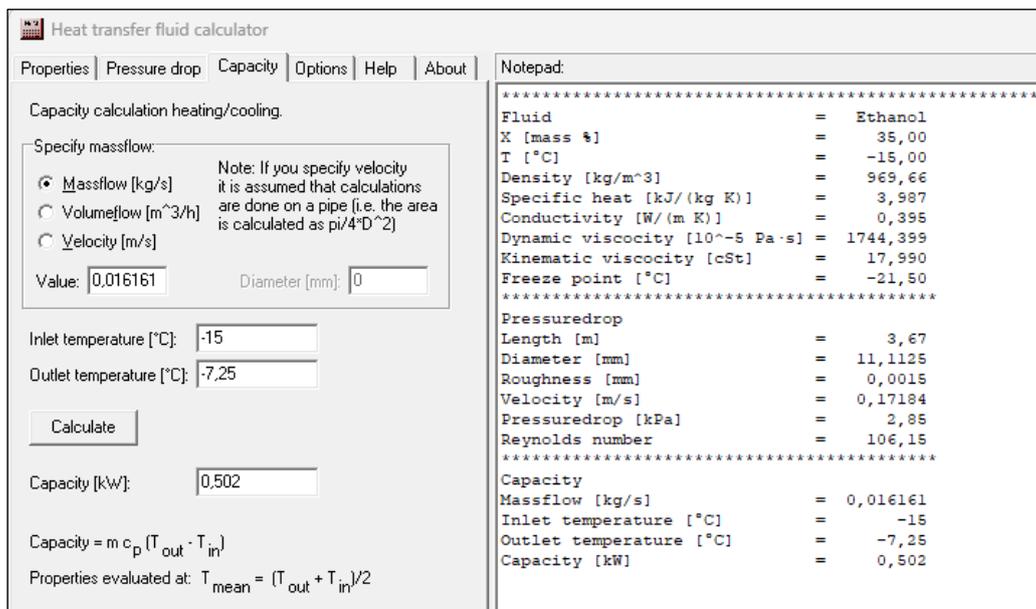
Selecionou-se uma bomba submersa, Figura 5, que se apresenta com vazão ajustável de 50l/h a 170l/h e 65cm de coluna d'água (0,65m.ca.), modelo AM-Nano com isolamento a prova d'água grau de proteção IPX8, alimentação bivolt 110~220VAC, Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE) A+, corpo em Polipropileno (PP), fabricante Amicus. Para dimensionamento adotou-se uma baixa vazão, 60l/h, sabendo que o aumento dessa vazão amplia a capacidade do trocador. Chegou-se, a partir da Equação (3) com densidade da solução para o etanol 35% igual 969,66Kg/m³, a uma vazão mássica aproximada de 0,0162Kg/s.

Destarte, a partir da aplicação da Equação (2), a carga térmica inicial total é aproximadamente 429,3Kcal, se considerar um tempo de processo de 1 hora chegar-se-ia a aproximadamente 499,3W, compatível com a capacidade frigorífica da máquina inicial.

A temperatura de saída do etanol da serpentina geradora da pista foi determinada a partir da Equação (4) e tem valor dimensionado para aproximadamente -7,3°C (265,85K).

A queda de pressão nesse trocador, considerando escoamento laminar completamente desenvolvido (circuito fechado), tendo a serpentina geradora da pista com 3,67m, rugosidade 0,0015mm para tubo liso de cobre novo e diâmetro interno de 11,12mm, foi obtida através do software Coolpack (2010) e corresponde a 2,85KPa (2,85KN/m²), com velocidade média de 0,17184m/s.

Figura 6: Recorte de tela do Coolpack - Heat Transfer Fluids Calculator com resultados para a serpentina geradora de pista de gelo.



Fonte: Coolpack (2010).

Para a configuração adotada, a checagem um coeficiente convectivo resultou em $h \cong 155 \text{ W/m}^2\text{K}$, que culmina numa área de troca térmica de aproximadamente 0,29m², e por conseguinte, adotando mesmo diâmetro $D = 3/8''$ (9,52mm), seria necessário uma serpentina com comprimento aproximadamente 2,24 vezes maior, $L = 8,2\text{m}$. Objetivando não alterar a configuração física da serpentina geradora, optamos ao final por aumentar o tempo de processo para 2 horas e 15 minutos, ajustando assim a capacidade disponível à carga térmica.

Para definição do diâmetro hidráulico e dimensionamento do permutador de calor de tubo duplo, adotou-se para o tubo interno mesmo diâmetro de saída da Válvula de Expansão

Termostática, $D_i = \frac{1}{2}$ " (12,7mm), para o tubo externo adotou-se o primeiro diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro do tubo central de maneira a facilitar o processo de fabricação. O diâmetro externo será $D_e = 5/8$ " (15,87mm) com espessura $1/32$ " (0,79mm), chegou-se ao $D_o = 14,29$ mm. Desta forma o diâmetro hidráulico determinado a partir da Equação (5) foi aproximadamente 0,00159m, com relação $D_i/D_o = 0,889$.

A determinação dos números de Nusselt para o escoamento no anular, a partir de interpolação de valores da Tabela 2, para laminar completamente desenvolvido, resultaram em $Nu_i = 5,056$ e $Nu_o = 4,764$. Seguindo a recomendação de Petukhov e Roizen, a partir da Equação (7) tem-se $F_i = F_o = 0,876$ ajustando-se os valores de número de Nusselt para uma melhor aproximação em $Nu_i = 4,431$ e $Nu_o = 4,175$.

Partindo dos números de Nusselt determinados, da condutividade térmica do etanol $k = 0,395$ W/m°C, e da aplicação da Equação (6), calculou-se os valores de coeficientes convectivos para a superfície de temperatura constante e para a parede adiabática do trocador respectivamente, $h_i = 1100,747$ W/m².°C e $h_o = 1037,278$ W/m².°C.

Calculou-se as áreas de superfície considerando um Número de Unidade de Transferência – NTU=5, que nos leva ao maior valor de transferência de calor por aumento de comprimento dos tubos, aplicando a Equação (8). Os valores de área obtidos foram $As_i = 0,293$ m² para superfície de tubo interna sob temperatura constante, e $As_o = 0,311$ m² para superfície do tubo externa adiabática.

Os comprimentos calculados a partir da Equação (9) foram $L_i = 7,34$ m e $L_o = 6,92$ m. Definiu-se então o comprimento nominal do trocador com adoção do maior, $L = 7,34$ m.

Adotando um trocador de tubo duplo helicoidal de diâmetro interno 250mm, este será fabricado com 9 voltas e a altura mínima, com espaçamento de 10mm entre cada volta, igual a 230mm. Pretende-se isolar o trocador com a aplicação de PUR (Poliuretano expandido) em espessura suficiente para quaisquer ganhos de calor pelo ambiente externo serem considerados desprezíveis.

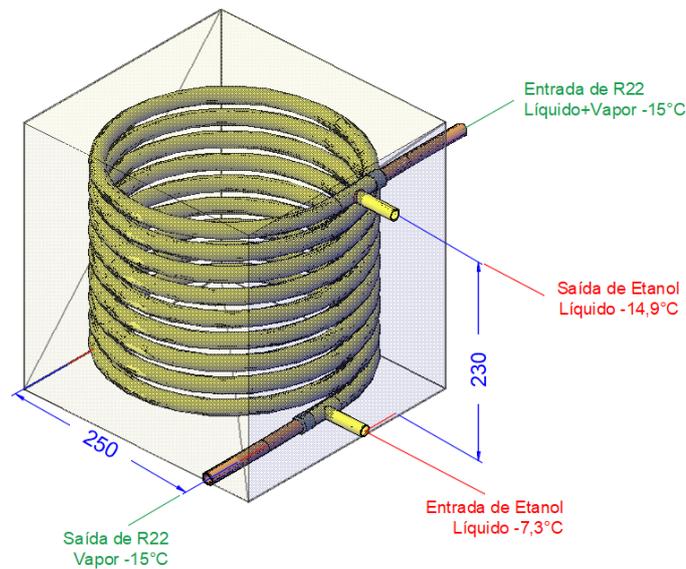
Para o comprimento especificado, a área de superfície considerada é do tubo interno, e a partir da Equação (12) pôde-se determinar a temperatura de saída do etanol ao passar pelo trocador de tubo duplo. O valor da temperatura de saída foi $T_e = -14,95$ °C (258,2K).

4. CONCLUSÕES

Ao término deste, apresentados os procedimentos para dimensionamento e obtidos os valores das variáveis de projeto calculadas, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- A máquina a ser construída apresenta capacidade frigorífica 430kcal/h (~500,1W) com set-point de temperatura em -6°C (267,15K) para a superfície do gelo, e -16°C (257,15K) para o fluido secundário etanol em concentração 35%. O tempo de processo estimado para o regime foi 2 horas e 15 minutos.
- Desprezadas as perdas pelo isolamento, a serpentina geradora da pista trabalhará com capacidade calculada para 429,3Kcal (499,03W) com fluido secundário em circulação etanol com concentração em massa de 35%, vazão mássica 0,0162Kg/s, temperatura de entrada em -15°C (258,15K) e temperatura de saída em $-7,3^{\circ}\text{C}$ (265,85K).
- O trocador de calor tipo tubo duplo trabalhará com os fluidos etanol a 35% e R22 em contracorrente. O Etanol circulará através do anular, entrando com temperatura aproximada de $-7,3^{\circ}\text{C}$ (265,85K) e saindo com temperatura aproximada de $-14,9^{\circ}\text{C}$ (258,25K sem ocorrência de mudança de fase. O R22 circulará pelo tubo central mudando de fase sob temperatura constante de -15°C (258,15K).
- O comprimento do trocador de tubo duplo será de 7,34m com diâmetros comerciais, central de $\frac{1}{2}''$ (12,7mm) e externo/anular de $\frac{5}{8}''$ (15,87mm) numa configuração helicoidal concêntrica. O diâmetro total do helicoide será 250mm e sua altura total 230mm considerando espaçamento entre voltas de 10mm. Será isolado do meio externo por meio de poliuretano expandido - PUR.
- As conexões serão realizadas por meio de conexões porca x flange em padrão SAE para o tubo de $\frac{1}{2}''$ e solda brasagem com metal de adição fooscooper para o diâmetro de $\frac{3}{8}''$ na entrada e saída do tubo anular.

Figura 7: Representação 3D do trocador de calor de tubo duplo dimensionado.



Fonte: Autor (2024).

Por fim, conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos com a compilação das informações dispostas para operação da serpentina geradora com etanol e demais que culminaram na especificação do trocador de tubo duplo e sua representação, conforme Figura 7.

REFERÊNCIAS

- AMICUS INOVAÇÕES. Manual de Instruções: *Aqua Mini - Modelo AM-Nano*. Rita do Sapucaí – MG. Disponível em: <<https://amicus.com.br/produtos-bomba-submersa-am-nano/>>. Acesso em: 12 julho 2024.
- CALISKANA, H., E HEPBASLIB, A. “Energy and Exergy Analyses of Ice Rink Buildings at Varying Reference Temperatures”. *Energy and Buildings*, Saudi Arabia, 2010.
- ÇENGEL, Y. A. E GHAJAR, A.J. Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática. Ed. McGraw-Hill, 4ª ed. New York, USA, 1018 p., 2012.
- COOLPACK, SOFTWARE. “Software Coolpack Version 1.50, 2000-2010”. Disponível em: <<https://www.ipu.dk/products/coolpack/>>. Acesso em: 12 abril.2024.
- JUREWICZ, CHRIS. “OT goal pushes Sweden into semi-final: Eriksson Ek scores to give his team a thrilling 2-1 win over rival Finland”. *International Ice Hockey Federation – IIHF*. News Article 23 May 2024 (News report). Disponível em: <https://www.iihf.com/en/events/2024/wm/news/61371/swe_fin_qf>. Acesso em: 12 julho 2024.
- KARAMPOUR, M. “Measurement and Modelling of Ice Rinks Heat Loads - Master of Science Thesis.” *KTH Industrial Engineering and Management*, Stockholm, 2011.

- RESENDE, W. S., BARBOSA, C. R. F., SCHAFER, S. I., LIMA, Á. A., BARBOSA JR., C. R. F. E GUERRA, A. R. O. "Projeto De Sistema de Refrigeração Didático para Geração de uma Pista de Gelo- Ice Rink: Parte 1". *In Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. ABCM*, Natal, Brasil. Vol. 1, 2024.
- RESENDE, W. S., BARBOSA, C. R. F., SCHAFER, S. I., LIMA, Á. A., BARBOSA JR., C. R. F. E GUERRA, A. R. O. "Projeto De Sistema de Refrigeração Didático para Geração de uma Pista de Gelo- Ice Rink: Parte 2". *In Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. ABCM*, Natal, Brasil. Vol. 1, 2024.
- STOECKER, W. F., JABARDO, J. M. S. Refrigeração industrial. Ed. McGraw-Hill, 2ª ed., São Paulo, Brasil, 371p., 2002.
- TUTUMLU, H., YUMRUTAS, R., E YILDIRIM, M. "Investigating thermal performance of an ice rink cooling system with an underground thermal storage tank". *Energy Exploration & Exploitation*, Turkey, 2018.
- ZHOU, W., GAN, Z., E HAN, L. "Simulation of the Optimal Refrigerated Floor Design for Ice Rinks". *Energies*, China. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en14061535>>. Acesso em: 09 abril.2024.

CAPÍTULO VIII

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO PORTÁTIL DE CRIOTERAPIA E HIPERTERMOTERAPIA COM O MICROCONTROLADOR PIC16F874A PARA CONTROLE PID DE TEMPERATURA

DEVELOPMENT OF A PORTABLE CRYOTHERAPY AND HYPERTHERMOTHERAPY STATION WITH THE PIC16F874A MICROCONTROLLER FOR PID TEMPERATURE CONTROL

DOI: 10.51859/amplla.cti4345-8

César Barretto Cristofoli¹
Flávio Luiz Rossini²
André Luiz Regis Monteiro³

¹ Engenheiro Eletrônico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR campus Campo Mourão.

^{2, 3} Professor Adjunto do Departamento Acadêmico de Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR campus Campo Mourão.

RESUMO

O tratamento via termoterapia é amplamente utilizado na fisioterapia e educação física como tratamento de diversas doenças por meio da aplicação terapêutica da crioterapia e hipertermoterapia, técnica que aplica calor por contato. Neste projeto, foi desenvolvido um sistema embarcado para aplicação portátil de termoterapia em uma bolsa térmica, que mantém sua temperatura, seja ela quente ou fria, durante todo o tempo pré-estabelecido. Atualmente, as bolsas térmicas não retêm temperatura quando utilizadas por um longo período, dependendo de sua aplicação, resultando em um tratamento ineficaz. Este trabalho descreve a construção e o projeto de um sistema portátil para realização da termoterapia, permitindo ajuste de tempo e temperatura sem interrupção no tratamento, de acordo com a literatura médica. Este projeto utilizou um microcontrolador PIC16F874A para realizar o controle de temperatura, por efeito *Peltier*, em um módulo termoeletrônico, e desenvolvimento de um *driver* de potência para acioná-lo. O trabalho também propôs realizar um estudo para utilização de um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para estabilização da temperatura da compressa em regime permanente.

Palavras-chave: Termoterapia. Controle PID. Efeito *Peltier*.

ABSTRACT

Treatment via thermotherapy is widely used in physiotherapy and physical education to treat various diseases through the therapeutic application of cryotherapy and hyperthermotherapy. This technique applies heat by contact. This project was developed as an embedded system for the portable application of thermotherapy in a thermal bag, which maintains its temperature, whether warm or cold, throughout the pre-established time. The thermal bags do not retain temperature when used for an extended period, whether warm or cold, depending on their application, resulting in ineffective treatment. According to the medical literature, this work describes the construction and design of a portable system for performing thermotherapy, allowing adjustment of time and temperature without interruption in treatment. This project used a PIC16F874A microcontroller to perform temperature control, by the Peltier effect, in a thermoelectric module and the development of a power driver to activate it. The work also proposed a study using a PID controller (Proportional-Integral-Derivative) to stabilize the compressed temperature in a permanent regime.

Keywords: Thermotherapy. PID Controller. Peltier Effect.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia eletrônica desempenha um papel fundamental na aplicação de métodos científicos ou empíricos para o uso dos recursos da natureza em benefício dos seres humanos. Ela nos diz que os avanços tecnológicos influenciarão cada vez mais o nosso cotidiano. Como resultado, estão associadas à engenharia áreas muitas vezes incomuns, sendo uma delas a fisioterapia, amplamente difundida em todo o mundo e focada na prevenção e tratamento de doenças e lesões [1].

Atualmente, existem diversas especialidades reconhecidas pelo Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional (COFFITO), entre elas a terapia dermatofuncional. Essa linha terapêutica é responsável por reduzir os efeitos estéticos de lesões e auxiliar na recuperação da mobilidade, utilizando, por exemplo, a termoterapia [2].

A dor pode ser considerada uma experiência emocional e sensorial desagradável associada a danos teciduais reais ou potenciais [3]. Pode-se então destacar dores ou tratamentos que são abordados com o uso da termoterapia, que tem se mostrado útil para diversas aplicações, dentre essas a cicatrização de tecidos, condições inflamatórias, redução de dores subagudas, espasmos musculares, prevenção da formação de edemas, antes ou durante exercícios de reabilitação, espasticidade, entre outros [4]. O conceito de termoterapia, termo que une a crioterapia e a hipertermoterapia, pode ser entendido como um recurso terapêutico que depende da troca de calor, a partir da existência de um gradiente de temperatura, para modificar a fisiologia do corpo [5].

Portanto, o tema a ser abordado trata do desenvolvimento de uma estação de termoterapia portátil que utiliza e controla uma bolsa térmica. O sistema microcontrolado mantém sua temperatura de acordo com a literatura médica durante todo o período de uso. Neste trabalho, aplicaram-se estratégias de controle de temperatura, com foco no uso do controlador proporcional-integral-derivativo (PID) e no estudo do controle unidirecional e bidirecional a partir do efeito *Peltier*. Um módulo termoelétrico, também conhecido como pastilha *Peltier*, foi utilizado como ferramenta para termoterapia. Desenvolveram-se o *software* e o *hardware* por meio do mikroC Pro for PIC da Mikroe®, o Altium Designer® e do microcontrolador PIC16F847A.

2. DESENVOLVIMENTO

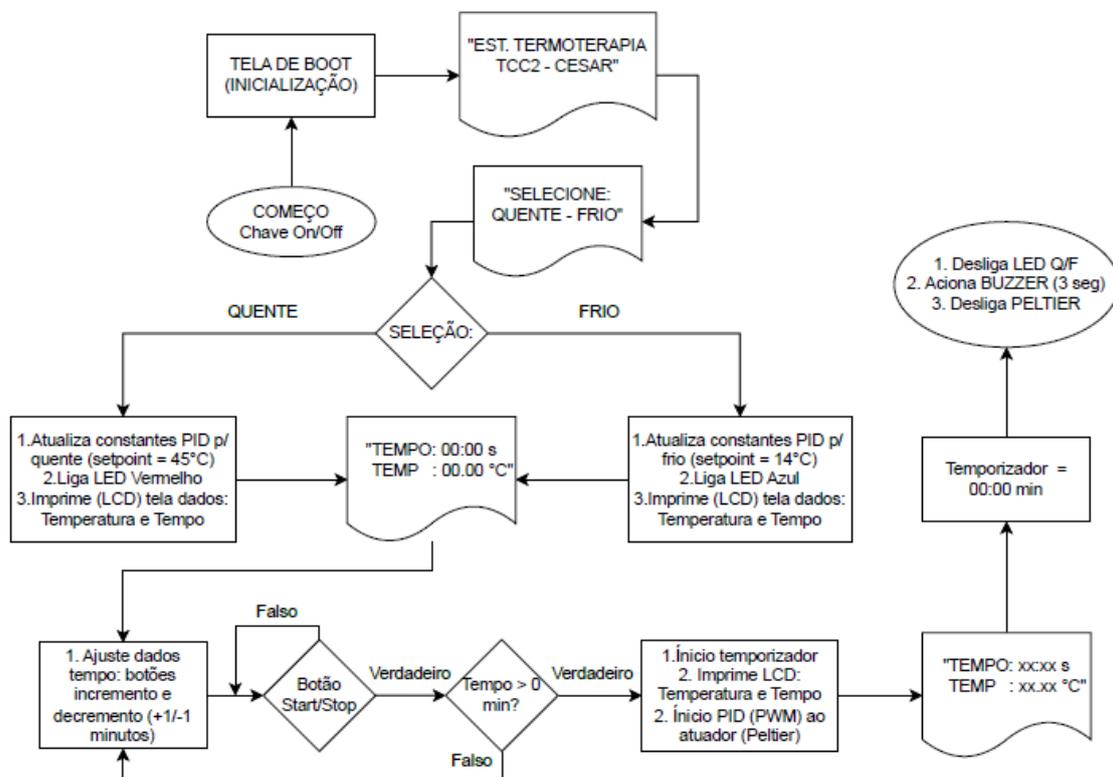
Nesta seção, apresenta-se a construção da planta utilizada nos experimentos e no projeto, detalhes de partes do código desenvolvido no ambiente mikroC PRO®, o desenvolvimento da PCB no Altium Designer®, sua fabricação e a estimativa da função de transferência do sistema utilizando MATLAB® e Arduino®.

2.1. CONSTRUÇÃO DO PROGRAMA

Para o desenvolvimento da rotina de programação, necessitou-se da utilização de um microcontrolador PIC, para o processamento de dados de todas as funções presentes, como: leitura do sensor de temperatura, acionamento da pastilha *Peltier* através de um *driver* de potência, indicação dos dados na tela LCD, botões para seleção do tempo e temperatura, e os cálculos presentes para o desenvolvimento do controlador PID.

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma do *software* desenvolvido. Implementou-se o *software* a partir do uso do mikroC PRO®, da MikroElektronika®, compilador ANSI C completo para dispositivos da Microchip®. Usou-se o microcontrolador PIC16F874A-I/P, com um oscilador de cristal externo de 4 MHz.

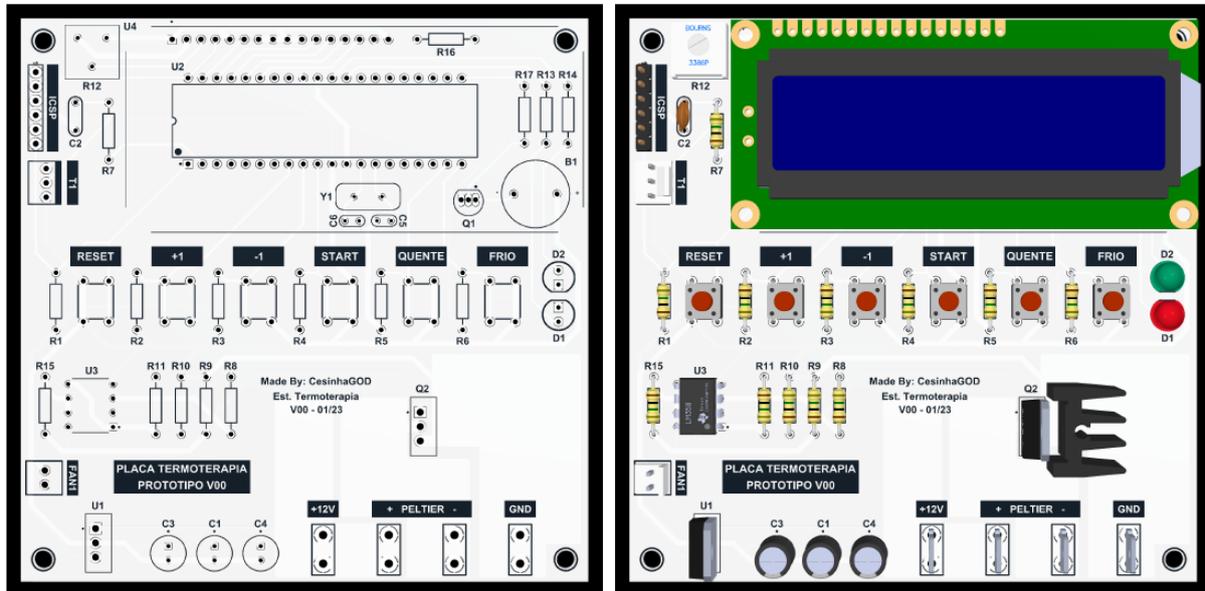
Figura 1: Fluxograma do código desenvolvido.



2.2. CONSTRUÇÃO DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

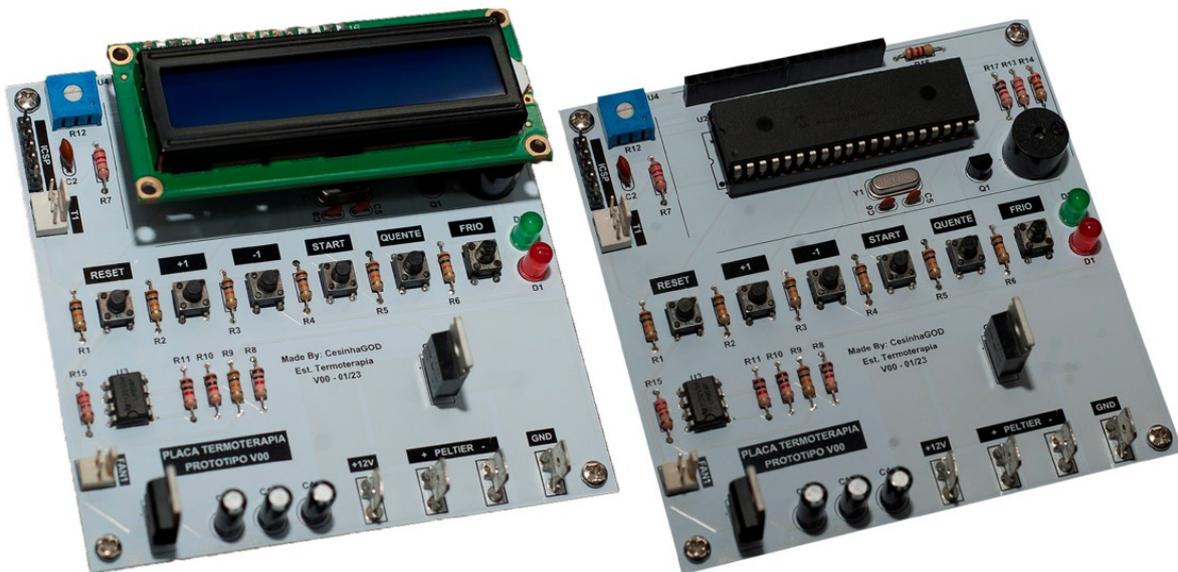
Na Figura 2, ilustra-se a placa de circuito impresso (inglês, *printed circuit board* – PCB) desenvolvida no Altium Designer®.

Figura 2: PCB desenvolvida no Altium Designer®, versão 2D e 3D, respectivamente.



Na Figura 3, representa-se a PCB com os componentes soldados e o protótipo da placa finalizado.

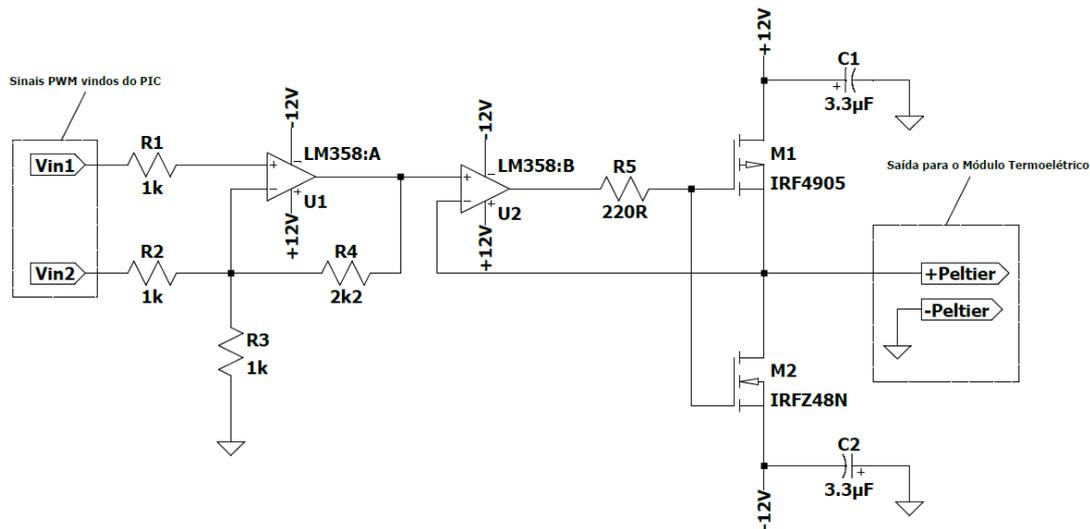
Figura 3: PCB com os componentes soldados com e sem display LCD, respectivamente.



2.3. CONSTRUÇÃO DO DRIVER DE CONTROLE DE CORRENTE

Para aplicar a corrente requerida pelo controlador ao módulo termoeletrico, projetou-se um *driver* bidirecional. Na Figura 4, representa-se a primeira versão do *driver* desenvolvida.

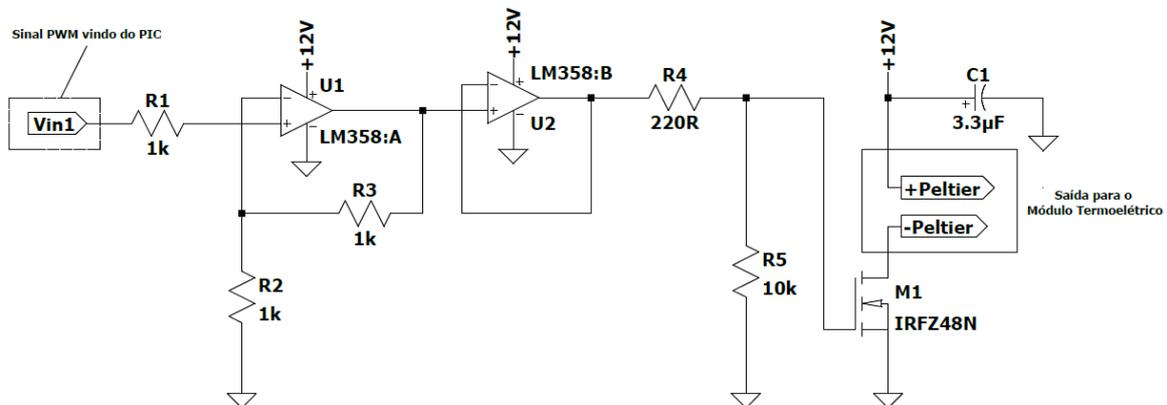
Figura 4: Primeira versão do *driver* bidirecional.



No circuito apresentado na Figura 4, utilizaram-se dois sinais provenientes do PIC, um sinal para controlar a corrente aplicada ao módulo num sentido e outro sinal para controlar o sinal no sentido inverso. O sinal do PIC varia de 0 à 5 V, contudo o sinal de Vin2 será invertido pelo amplificador operacional. Dessa forma Vin1 fornecerá uma saída positiva e Vin2 uma saída negativa para o módulo.

Com avanço da realização do projeto, quando o *driver* estava sendo idealizado e testado, percebeu-se a necessidade de alteração do projeto inicial, com a inclusão de um dobrador de tensão, com uma ponte H de MOSFET, para acionamento do chamado *high side drivers*. Pela impossibilidade da construção da ponte H ou dobrador de tensão, a segunda versão do driver é apresentada na Figura 5.

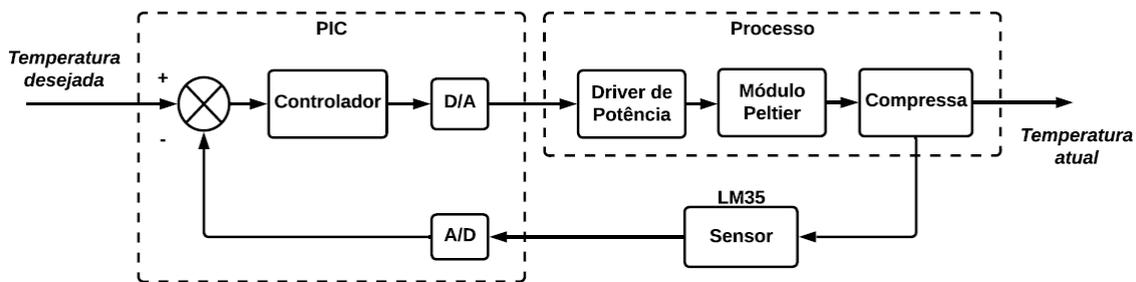
Figura 5: Segunda versão, *driver* unidirecional.



Na Figura 6, ilustra-se o diagrama funcional do controle de temperatura. Nele a temperatura atual é realimentada ao sistema para que haja uma comparação entre a temperatura atual e a desejada. O algoritmo de controle PID, presente dentro do PIC, utiliza

este erro (temperatura desejada – temperatura atual) para calcular o acionamento do módulo termoeletrico (via PWM). Ele atua como conversor A/D e D/A, onde realiza a interface entre a planta e o LCD. De acordo com esse sinal, enviado pelo controlador, o *driver* de potência entrega a corrente elétrica necessária ao módulo que, por fim, aquece ou esfria a compressa.

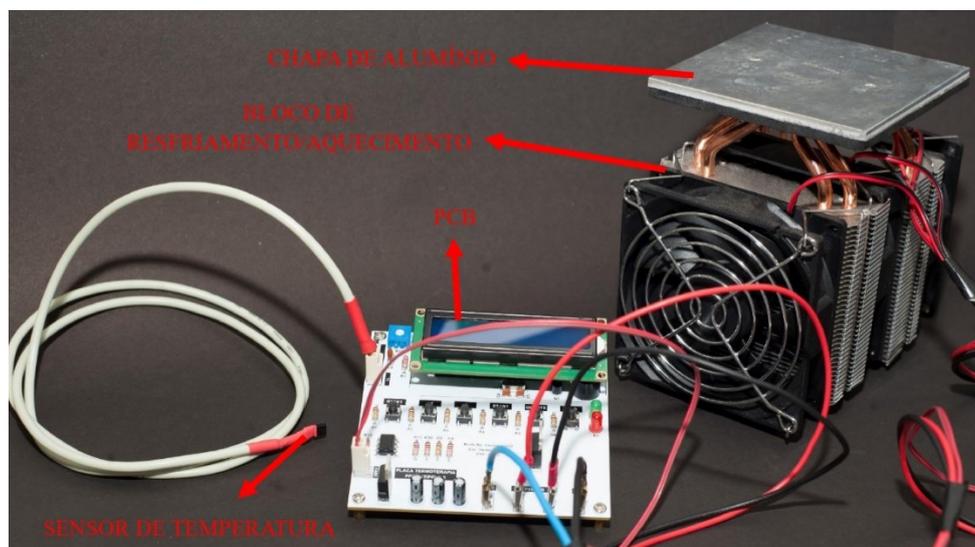
Figura 6: Diagrama de blocos do controle de temperatura proposto



3. PROJETO COMPLETO

Na Figura 7, visualiza-se o projeto final da estação de termoterapia. Nela, pode-se observar o módulo termoeletrico (TEC1-12715), a PCB e o sensor de temperatura (LM35).

Figura 7: Visão geral da planta



3.1. BATERIA DE TESTE

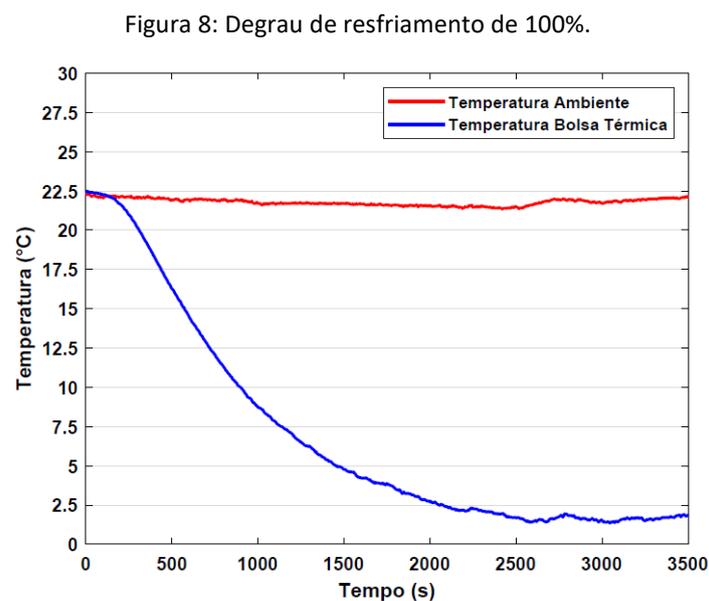
A compressa é posicionada acima da chapa de alumínio do bloco de resfriamento/aquecimento, que a aquece ou resfria. O sensor de temperatura é posicionado junto da compressa para realizar a medida instantânea da temperatura. O modelo utilizado foi a bolsa térmica em gel da MERCUR, com dimensões de $20 \times 15 \times 10 \text{ cm}$ [6].

O controlador do tipo PID pode ter seus parâmetros obtidos por uma técnica de sintonia, proposta por Ziegler e Nichols (ZN). Este método consiste em obter uma resposta da

planta a partir de uma entrada em degrau unitário, caso a planta tenha o formato de uma curva em S, como um sistema de primeira ordem com atraso [7] [8]. As regras visam obter um *overshoot* máximo de 25% [9]. Para estimar a função de transferência (FT), aplica-se uma tensão ao módulo e realiza-se uma observação a resposta do sistema. Torna-se necessário obter a temperatura ambiente e temperatura da compressa, segundo a segundo. Ao atingir a temperatura da compressa em regime permanente, plotar o gráfico correspondente [10] [11].

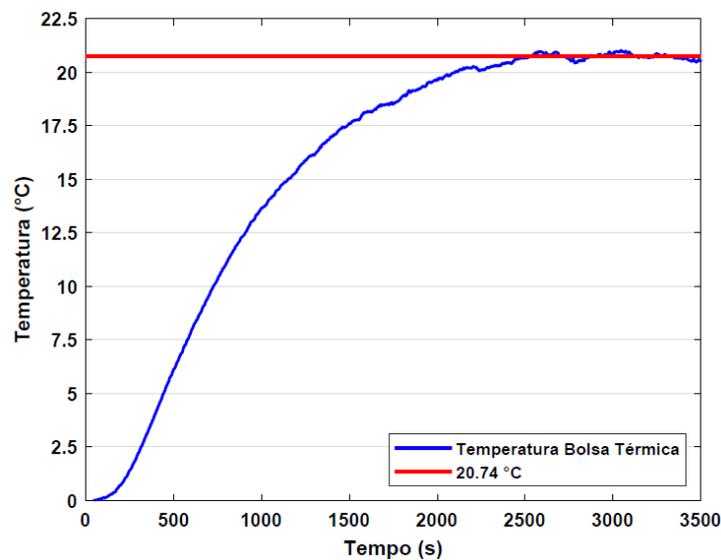
Para obter a temperatura ambiente e da compressa, utilizaram-se dois sensores de temperatura LMT87 [12], em duas portas analógicas do Arduino Mega [13], e realizou-se a leitura a cada segundo. Usaram-se o Arduino e o sensor LMT87 para gerar o relatório das leituras, *datalogger*. Ao aplicar a tensão ao módulo, inicia-se a coleta da temperatura e observa-se a sua variação ao longo do tempo, até sua estabilização.

A resposta do módulo termoelétrico ao estímulo, bem como a temperatura ambiente ao longo do experimento são apresentadas na Figura 8.



A partir dos dados aquisitados, observou-se um comportamento que se aproxima de um sistema de primeira ordem com um pequeno tempo morto, uma vez que responde na forma exponencial e sem *overshoot*. Constatou-se um tempo de 82 segundos até que o sistema apresentasse uma variação de temperatura. Em seguida, normalizou-se a resposta do sistema, por meio da subtração da temperatura inicial e os valores absolutos dessa subtração foram amostrados para a obtenção de um sinal a partir de zero, o qual atinge aproximadamente 20,74°C em regime permanente. Na Figura 9, a normalização do sinal gráfico é apresentada.

Figura 9: Degrau de resfriamento normalizado



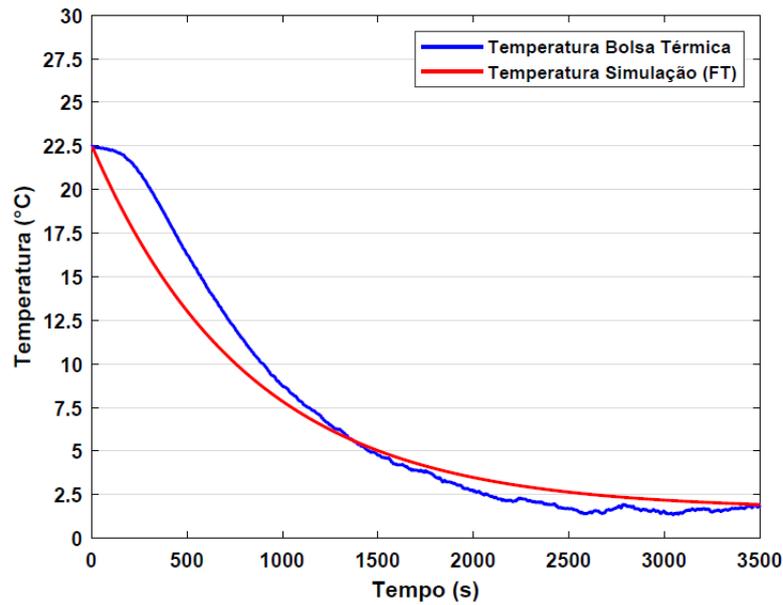
O valor de $20,74^{\circ}\text{C}$ representa a média a partir dos 2500 segundos, ponto onde o sistema se encontra em regime permanente. Para definir a constante de tempo T do sistema de primeira ordem, esse é o tempo gasto para a saída do sistema atingir 63,2% do valor em regime permanente. Pelo experimento, esse valor é alcançado no tempo 906 segundos, e ao descontar o atraso de tempo de 82 segundos, obtém-se uma constante de tempo de 824 segundos. O ganho K do controlador é a razão entre o valor em regime permanente e a entrada, no caso a razão entre $20,74^{\circ}\text{C}$ (temperatura final normalizada) e -1 (valor correspondente ao degrau de 100%), que resulta em $-20,74$. Esse ganho possui um valor negativo, uma vez que atua no resfriamento do sistema.

A partir dos valores obtidos experimentalmente, a FT pode ser escrita como

$$G(s) = -\frac{20,74}{824s + 1} e^{-82s} \quad (1)$$

Para validar a FT obtida e os valores coletados do experimento, plotou-se a Equação (1). Os valores obtidos desta simulação e os dados do experimento, são apresentados na Figura 10.

Figura 10: Comparação dos dados reais e simulados do resfriamento.



O modelo matemático obtido é aproximado, contudo o sistema é variante no tempo, ou seja, a obtenção da FT depende da temperatura ambiente. A partir do gráfico na Figura 10, conclui-se que a FT estimada apresenta uma resposta semelhante aos dados reais obtidos, portanto representa o sistema proposto.

3.2. SINTONIA DO CONTROLADOR PID

A partir da FT estimada, Eq. (1), torna-se possível calcular os ganhos do controlador PID pelo método de sintonia de Ziegler-Nichols. Os ganhos obtidos para o controlador são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Ganhos do controlador PID para resfriamento.

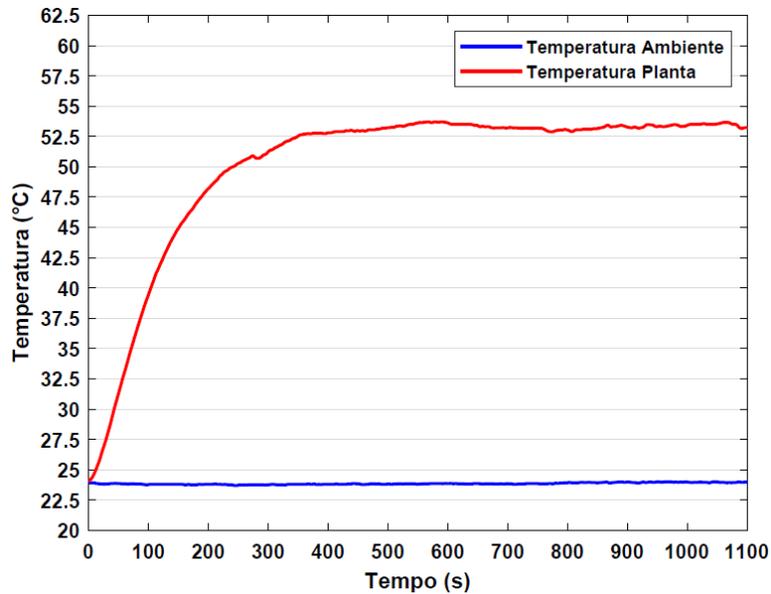
| Controlador | K_p | T_i | T_d |
|-------------|---------|----------|-------|
| P | 10,0488 | — | — |
| PI | 9,0439 | 273,3333 | — |
| PID | 12,0585 | 164 | 41 |

Esses valores são úteis para realizar a discretização para implementação do controlador PID via software no PIC. De forma análoga, realizou-se o mesmo experimento no sentido do aquecimento do módulo, com utilização dos mesmos parâmetros de referência. Contudo, utilizou-se um degrau de aquecimento de 40% do valor máximo (saturação). Esse valor corresponde a um *duty cycle* de 40% (PWM), com uma frequência de 250 Hz, dessa forma obteve-se a FT

$$G(s) = -\frac{29,16}{120s + 1} e^{-5s} \quad (2)$$

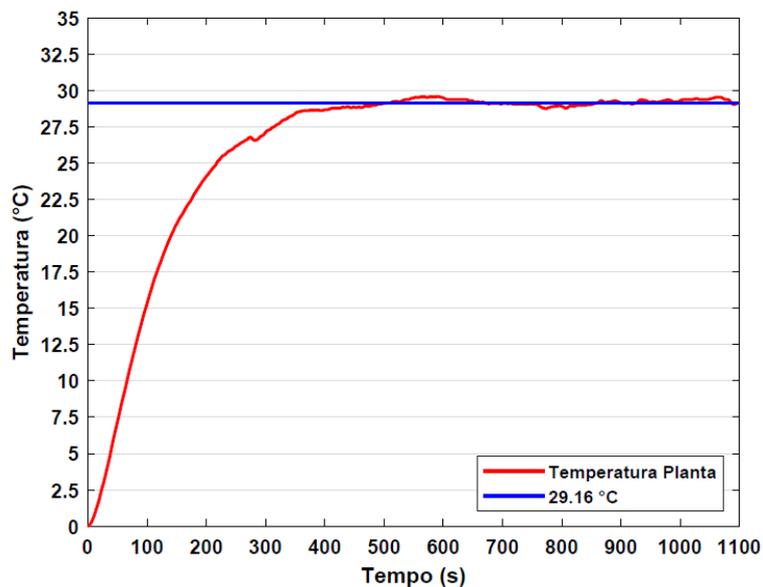
Observa-se na Figura 11 o comportamento do sistema ao degrau de aquecimento.

Figura 11: Degrau de aquecimento de 40%.



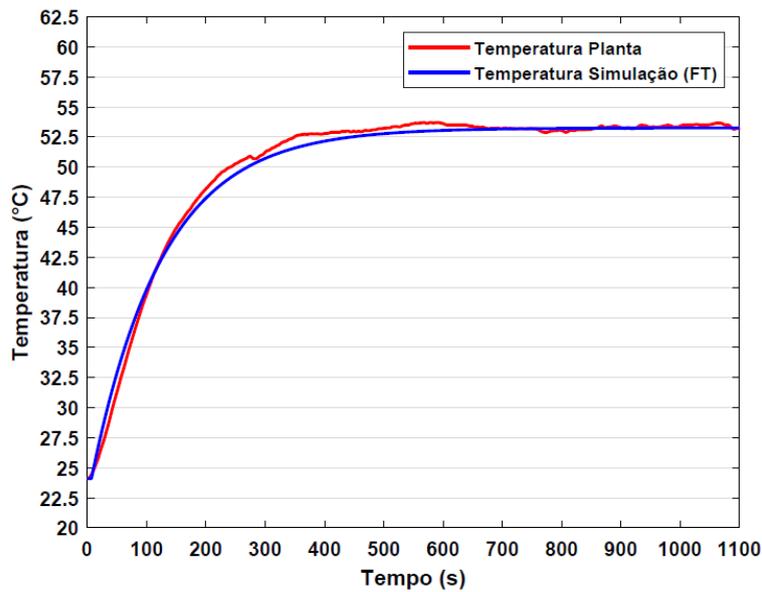
Na Figura 12, mostra-se a resposta do sistema normalizado para o degrau de aquecimento.

Figura 12: Degrau de aquecimento normalizado.



Na Figura 13, representa-se a comparação dos gráficos reais e simulados ao degrau de aquecimento e o resultado da FT obtida.

Figura 13: Comparação entre os dados reais e simulados para o aquecedor.



Na Tabela 2, representa-se o ganho do controlador PID pela FT obtida para o aquecimento pelo método de Ziegler-Nichols.

Tabela 2: Ganhos do controlador para o aquecimento.

| Controlador | K_p | T_i | T_d |
|-------------|-------|---------|-------|
| P | 24 | — | — |
| PI | 21,6 | 16,6667 | — |
| PID | 28,8 | 10 | 2,5 |

Para implementação do PID digital, usou-se uma aproximação retangular, dado o método usado para o cálculo do termo integral [14]-[20]. Implementou-se a Equação (3) no microcontrolador, na qual envia o valor do estado atual para o conversor D/A em função da sua entrada.

$$u[n] = k_p e[n] + k_i(e[n] + e[n - 1]) + k_d(e[n] - e[n - 1]) \quad (3)$$

sendo os ganhos obtidos por

$$k_i = \frac{k_p t_a}{t_i} \quad (4)$$

$$k_d = \frac{k_p t_d}{t_a} \quad (5)$$

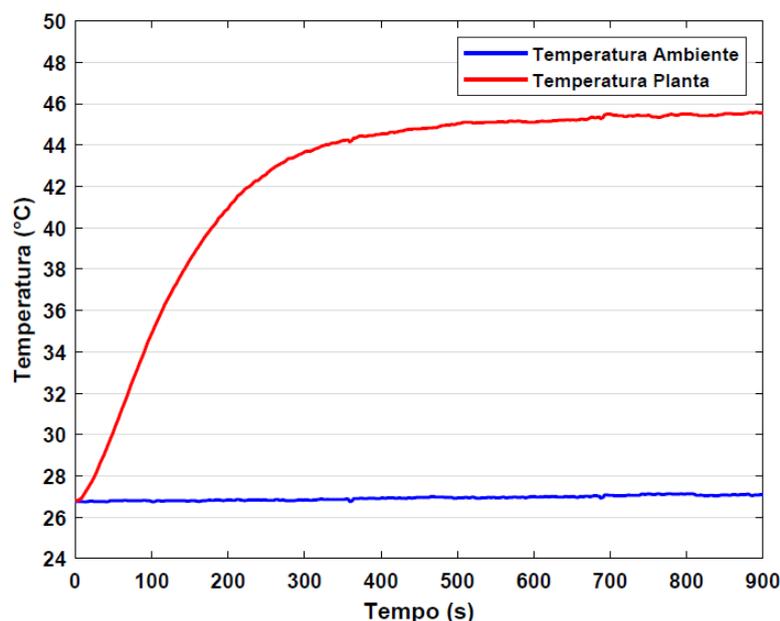
sendo t_i o tempo de integração, t_d o tempo de derivação, $u[n]$ a saída do controlador para o atuador, $e[n]$ o erro no intervalo n amostras e t_a a taxa de amostragem do conversor A/D. No caso o valor de (4 ms), obtido pela razão de 1 sobre a frequência do PWM de 250 Hz.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento com o protótipo da estação de termoterapia. Apresenta-se a resposta do sistema aos experimentos de controle da temperatura do bloco de resfriamento/aquecimento, com a utilização do controle PID para dois valores distintos de *setpoint*, um valor para o aquecimento de 45°C , e um valor para o resfriamento de 14°C . Testes obtidos com a utilização do *driver* unidirecional também são apresentados, bem como o resultado definitivo da planta obtida, com todos os seus periféricos e funcionalidades.

A partir da utilização dos valores dos ganhos do controlador PID obtido pelo método de ZN, apresentados na Tabela 1, observou-se a resposta do sistema. O ganho adotado para o controlador foi $K_p = 24,0$, e os tempos integral e derivativo de $T_i = 10\text{ s}$ e $T_d = 2,5\text{ s}$, respectivamente, com o valor de *setpoint* definido em 45°C . A resposta do sistema pode ser observada na Figura 14.

Figura 14: Resposta ao controle PID e *setpoint* de 45°C

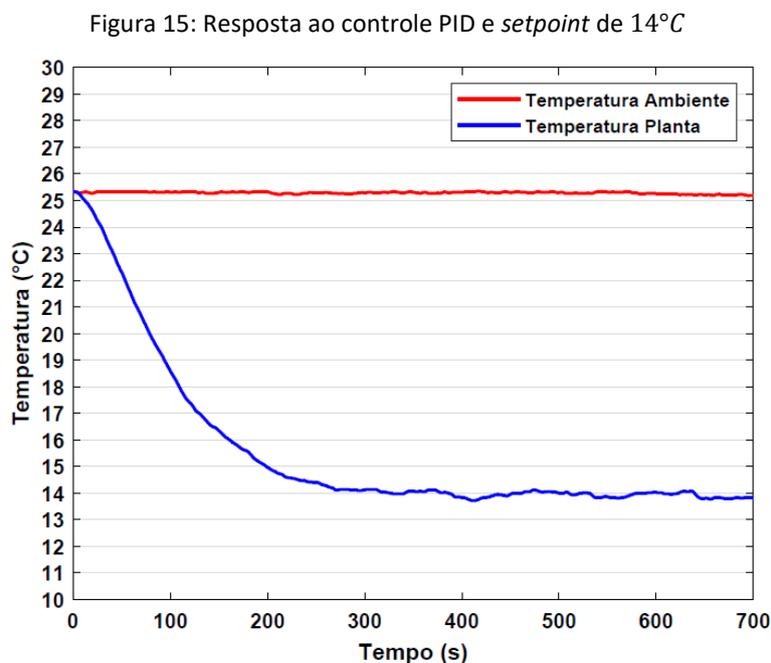


Como consequência, a resposta do sistema de primeira ordem acaba por atingir o valor desejado (regime permanente), com um certo atraso de cerca de 50 s , quando comparado com a resposta do controle *on-off*. Entretanto, com um valor de erro acumulado menor e desgaste reduzido ao atuador. O valor do erro foi calculado pela média aritmética no intervalo $t = 500\text{ s}$ e $t = 900\text{ s}$, ponto onde o sistema se encontra em regime permanente. O valor do erro obtido foi de $0,22\%$. Um valor excelente para aplicação estudada quando comparada

com a resposta *on-off*. Outros fatores podem vir a influenciar a medição, como: variação da temperatura ambiente, resolução do conversor A/D do PIC, imprecisão do sensor de temperatura, resolução do PWM, entre outros.

Do mesmo modo, obteve-se a resposta do controlador PID para o resfriamento. O valor do ganho $k_p = 12,0585$, e os valores do tempo integral e derivativo de 164 s e 41 s, respectivamente, conforme a Tabela 2. A Figura 15 apresenta essa resposta.

O valor do erro calculado pela média aritmética, baseou-se no valor que se observa no regime permanente do sistema. Selecionou-se o intervalo $t = 300$ s e $t = 700$ s, com um valor obtido de 13,923°C, mostrado na Figura 15. O erro calculado foi de 0,55%. Do mesmo modo ao controle PID para o aquecimento, observou-se um atraso na estabilização quando comparado ao controle *on-off*.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e construir uma estação de termoterapia microcontrolada, utilizando um controlador PID, estudo bidirecional e unidirecional em um módulo termoelétrico, durante o período do tratamento desejado pelo usuário.

O estudo de técnicas de controle permitiu aprofundar o conhecimento sobre como as plantas reais funcionam, e fornece uma compreensão correta de seu comportamento. O controle de temperatura usando o efeito *Peltier* permitiu que técnicas de controle,

especialmente PID, fossem aplicadas de forma simples e eficaz. O uso do sistema fornece um grande aprendizado com relação à resposta de sistemas de primeira ordem.

A contribuição do projeto foi explorar técnicas na utilização de um módulo termoeletrônico como atuador em um sistema de controle de temperatura, pela capacidade de trabalhar em diferentes direções de troca de calor (aquecimento/resfriamento), de acordo com a direção da corrente fornecida ao módulo. Outros métodos podem ser utilizados para estimar a função de transferência do sistema.

Os resultados foram promissores, pois foi possível aplicar as técnicas de controle e estabilizar a temperatura no valor de referência segundo a literatura médica (14°C e 45°C). Fazer uma comparação com o controle *on-off*, bem como o desenvolvimento do *hardware* e *software* propostos. A planta desenvolvida apresentou respostas condizentes com suas características, e conseguiu, de forma geral, estabilizar a temperatura para os *setpoints* definidos, apesar da utilização de um PIC de 8 bits.

Por fim, o projeto foi útil para a aplicação da termoterapia, devido à sua capacidade de atingir a temperatura definida na literatura médica.

REFERÊNCIAS

- FREITAS, Dina Chavante. Eletrônica I. Manaus: Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, 2016. p. 30. Disponível em: <https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/966/INTRODU%C3%87%C3%83O%20A%20TECNOLOGIAS%20DE%20ENGENHARIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- RESOLUÇÃO N°. 394/2011 – Disciplina a Especialidade Profissional de Fisioterapia Dermatofuncional e dá outras providências. 2014. Disponível em: <https://www.coffito.gov.br/nsite/?p=3157>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- DeSANTANA, J. M. et al. Revised definition of pain after four decades. BrJP [online], Scielo, v. 3, n. 3, p. 197-198, set. 2020. ISSN 2595-3192. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/2595-0118.20200191>. Acesso em: 01 abr. 2022.
- PRENTICE, W. E. Fisioterapia na Prática Esportiva. 4. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2014.
- STARKEY, C. Recursos Terapêuticos em Fisioterapia. 4. ed. Barueri-SP: Manole, 2017.
- MERCUR. Bolsa Termica Gel Pequena. 2023. Disponível em: <https://loja.mercur.com.br/bolsa-termica-gel-pequena/p?skuld=859>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- PAWELSKI, L.; ROSSINI, F. L.; COLDEBELLA, H. Desenvolvimento de um aplicativo estimador não paramétrico de função de transferência de processos industriais (EnPFTPI). In:

- Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: [https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/546232-desenvolvimento-de-um-aplicativo-estimador-nao-parametrico-de-funcao-de-transferencia-de-processos-industriais-\(e/](https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/546232-desenvolvimento-de-um-aplicativo-estimador-nao-parametrico-de-funcao-de-transferencia-de-processos-industriais-(e/). Acesso em: 07 jul. 2023.
- PAWELSKI, L.; ROSSINI, F. L.; BROLIN, L. C. Projeto e Implementação de um Controlador Digital Aplicado a uma Estação de Solda com Temperatura Variável. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/546233-projeto-e-implementacao-de-um-controlador-digital-aplicado-a-uma-estacao-de-solda-com-temperatura-variavel/>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; EMAMI-NAEINI. Sistemas de Controle para Engenharia. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- CRISTOFOLI, C. B.; MONTEIRO, A. L. R.; ROSSINI, F. L. Desenvolvimento de uma Estação de Crioterapia e Hipertermoterapia Portátil. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/532146-desenvolvimento-de-uma-estacao-de-crioterapia-e-hipertermoterapia-portatil/>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- PAWELSKI, L.; COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F. L. Manual do Aplicativo para Estimção não Paramétrica de Função de Transferência de Processos Industriais (EnPFTPI), 2022. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/flrossini/Manual_EnPFTPI_com_ISBN.\\pdf/view. Acesso em: 07 jul. 2023. ISBN: 978-65-00-48542-4.
- TEXAS INSTRUMENTS. LMT87 Analog Temperature Sensors With Class-AB Output. 2014. Available at: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmt87.pdf>. Access at: Apr 05. 2022.
- ARDUINO. Mega 2560 Rev3. 2023. Available at: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>. Access at: Mar 22. 2023.
- NEVES, F. Controlador PID digital: Uma modelagem prática para microcontroladores - Parte 1. 2014. Available at: <https://embarcados.com.br/controlador-pid-digital-parte-1/>. Access at: Mar 22. 2023.
- ROSSINI, F. L. Métodos de Filtragem, Estimção e Controle Adaptativo Indireto Aplicados a Sistemas de Teleoperação Bilateral. pt. PhD thesis. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade Estadual de Campinas, 2020, p. 92. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_a4357c8ea5602bb2b5b0d556e8c3a91e. Acesso em: 06 set. 2023.

- LUIZ ROSSINI, F.; SANTOS MARTINS, G.; PAULO SILVA GONÇALVES, J.; GIESBRECHT, M. Recursive identification of continuous time variant dynamical systems with the extended kalman filter and the recursive least squares state-variable filter. In: 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS, 2018, Porto, Portugal. 15th international conference on informatics in control, automation and robotics. [S. l.]: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018. ISBN 9789897583216. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0006865504680475>. Acesso em: 13 set. 2023.
- MARAN, M. E. S.; PRADELA, W. G. L.; ROSSINI, F. L. Modelagem no Domínio do Tempo, Discretização com Segurador de Ordem Zero e Simulação Computacional de um Circuito Passivo. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/554-15241c3f7833f712d1aef527331266986fdec801538fed9005ecb5bd0b909d2c.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- FIGUEIREDO, G.; SOUZA, J. C.; OLIVEIRA, P. H. M.; ROSSINI, F. L. Solução e Análise das Formas de Onda de Sistema Linear, Discreto e Invariante no Tempo. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1395-73709f521d592983364c94fcf5bc79ed558665009290a70f6f02434daaebf35a.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F. L. Design and Simulation of a Model Reference Adaptive Control System Using the Recursive Least Squares Method with Forgetting Factor for Gain Adjustment. In: Seven Editora. Development and Its Applications in Scientific Knowledge. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2023. p. 3499-3515. ISBN 978-65-84976-28-3. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-287>. Acesso em: 18 maio 2023.
- CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L. Design, simulation and analysis of challenges of parametric estimation algorithms applied to adaptive control by reference model. In: Seven Editora. Development and its applications in scientific knowledge. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-247>. Acesso em: 13 set. 2023.

CAPÍTULO IX

EXPLORANDO O POTENCIAL DAS CASCAS DE EUCALIPTO: UM NOVO HORIZONTE PARA CORANTES NATURAIS NO TINGIMENTO TÊXTIL

EXPLORING THE POTENTIAL OF EUCALYPTUS BARK: A NEW HORIZON FOR NATURAL DYES IN TEXTILE DYEING

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-9

Nathalia Peder Marcelino ¹

Nívea Taís Vila ²

Alexandre Jose Sousa Ferreira ³

Márcia Gomes da Silva ⁴

¹ Graduada em Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

² Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

⁴ Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

RESUMO

Os corantes naturais têm ganhado destaque em pesquisas recentes por serem ecologicamente seguros e biodegradáveis, representando uma alternativa sustentável aos corantes sintéticos. Um exemplo promissor para a extração desses corantes é a casca de eucalipto, um subproduto da indústria madeireira, gerado principalmente durante a colheita silvícola, em pátios de beneficiamento de madeira e na fabricação de celulose. A utilização deste resíduo pode substituir os corantes sintéticos, atendendo à demanda de mercados que procuram produtos ambientalmente responsáveis. O objetivo deste estudo foi investigar o potencial do extrato das cascas de eucalipto como corante natural para tingir tecidos de seda e poliamida. A pesquisa também examinou a influência do pH no rendimento do tingimento, a eficácia da pré-mordentagem das fibras com mordentes naturais e a solidez à lavagem dos tecidos tingidos. Os resultados indicaram que o resíduo da casca de eucalipto é uma fonte viável de corante natural para tingimento têxtil, produzindo tons marrom amarelados nos tecidos. O maior rendimento de tingimento foi observado a pH 3, e os índices de solidez à lavagem foram satisfatórios, tanto com a aplicação de mordentes quanto sem eles. Este estudo não apenas demonstra a viabilidade de usar resíduos da indústria madeireira como fonte de corantes naturais, mas também promove práticas de tingimento mais sustentáveis e ecológicas, em resposta às crescentes demandas por produtos ambientalmente corretos.

Palavras-chave: Tingimento Têxtil. Corante Natural. Sustentabilidade. Mordente.

ABSTRACT

Natural dyes have garnered significant attention in recent studies due to their ecological safety and biodegradability, offering a sustainable alternative to synthetic dyes. A promising source for extracting these dyes is eucalyptus bark, a byproduct of the timber industry primarily generated during silvicultural harvesting, in wood processing yards, and in pulp manufacturing. The use of this substrate can replace synthetic dyes, catering to markets that demand environmentally friendly products. The aim of this study was to investigate the potential of eucalyptus bark extract as a natural dye for silk and polyamide fabrics. The research also examined the influence of pH on the dyeing process yield, the effectiveness of pre-mordanting fibers with natural mordants, and the wash fastness properties of the dyed materials. The results indicated that eucalyptus bark residue is a viable source of natural dye for textile dyeing, producing yellowish-brown shades on fabrics. The highest dye yield was observed at pH 3, and the wash fastness ratings were satisfactory, both with and without the application of mordants. This study not only demonstrates the feasibility of using timber industry residues as a source of natural dyes but also promotes more sustainable and eco-friendly dyeing practices, aligning with the growing demand for environmentally responsible products.

Keywords: Textile Dyeing. Natural Dye. Sustainability. Mordant.



1. INTRODUÇÃO

Uma das características que demandam atenção na cadeia têxtil é seu forte impacto social e ambiental. Além de consumir em grande quantidade energia e recursos hídricos, usa-se muitas substâncias químicas nocivas e gera grandes quantidades de resíduos sólidos e gasosos, sendo a etapa de beneficiamento a que mais contribui (Queiroz, 2016; Jena; Khandual; Sahu; Behera, 2015). Os processos realizados na indústria abarcam desde recursos naturais até condições de trabalho nas cadeias de suprimentos. Objetivando a diminuição de impactos socioambientais, o setor tem buscado inserir práticas sustentáveis em sua rotina, trazendo a necessidade de buscar inovações e transformações positivas para as problemáticas do setor, desde que sejam viáveis e ecologicamente corretas (Zanirato, 2013; Schulte; Lopes, 2008).

Tendo em vista tais condições, tem-se a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 (Organização das Nações Unidas, 2024) que define os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é um exemplo atual de governança global e de como a sustentabilidade é um desafio que só pode ser alcançado com mudanças e a cooperação de estados, indústrias e da sociedade civil (Zanella, 2019). Os ODS são poderosas estratégias que visam promover o completo desenvolvimento do mercado têxtil (Delta, 2023). Para a indústria têxtil ser um meio para a efetividade dos ODS, é preciso evidenciar a relação de cada setor da indústria com seus avanços necessários para colaborar com os ODS.

Com base nos ODS, é possível desde analisar problemas complexos até exemplificar e sistematizar maneiras para solucioná-los (Organização das Nações Unidas, 2024; Zanella 2019). Pensar em desenvolvimento sustentável é também democratizar as informações e pensar em novas formas de organização da sociedade. Na perspectiva do ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis), o objetivo é assegurar padrões de produção e consumo sustentável, incentivando empresas a integrar informações sustentáveis utilizando recursos naturais, reduzindo então, a geração de resíduos (Febratex Group, 2022).

Historicamente, quando se implementou o uso de corantes sintéticos no setor têxtil, os corantes naturais perderam espaço no mercado, devido a sua complexibilidade de aplicação quando comparado aos sintéticos. No entanto, é importante levar em consideração alguns fatores que influenciam na substituição dos sintetizados, já que a utilização de corantes sintéticos colabora para os altos níveis de poluentes que a indústria emite. Então, com a

crescente conscientização a respeito dos riscos ambientais, gerou-se um grande interesse mundial em busca da volta da utilização de corantes naturais (Bulut e Akar, 2012). Portanto, vários tipos de plantas, minerais e até mesmo insetos têm sido utilizados como estudo para possíveis meios de obtenção de corantes naturais. (Dognini; Lopo; Paza, 2018).

Em geral, os corantes naturais proporcionam cores suaves e amenas (Samanta e Konar, 2011). Os mesmos, são mais complexos em termos de padrões de qualidade e de preço de venda no mercado (Shahid et al., 2013). Sendo assim, existe uma grande dificuldade em se reproduzir as cores uma vez obtidas naturalmente, pois a quantidade de pigmento difere, em uma mesma planta, de uma parte para outra, de uma estação para outra e de um indivíduo para outro. Também, as tonalidades de cores são facilmente influenciáveis até mesmo pelo tipo de material utilizado para o processo (Samanta e Konar, 2011).

Para realizar um tingimento natural de qualidade, é necessário o auxílio de mordentes, que, por sua vez, é uma substância associada ao tingimento, que forma uma ponte química entre o corante e a fibra para que aumente a afinidade do corante com a fibra, produzindo uma melhor cor. O mordente pode conferir maior resistência à exposição ao sol e também às lavagens. Este pode ser aplicado à fibra antes, durante ou depois do tingimento (Santos, 2018; Sholikhah et al., 2022).

O mordente pode ser de origem mineral, vegetal ou de sais orgânicos e, atua de modo a atrair as moléculas do corante, criando uma ligação com a fibra (Ribeiro, 2019). O processo de aplicação dos mordentes é utilizado para melhorar a adsorção, a absorção e a fixação do corante sobre a fibra, visto que a maior parte dos corantes naturais apresenta uma afinidade limitada sobre as fibras têxteis. Além disso, a presença do mordente, na maioria das vezes, altera a tonalidade do corante, sendo assim, mordentes diferentes irão produzir tonalidades diferentes apesar da utilização do mesmo corante (Samanta; Konar, 2011; Singh; Singh, 2018; Zarkogianni et al., 2011).

Dentre os mordentes provenientes de fontes vegetais utilizados para aplicação nos tingimentos com corantes naturais, destacam-se os taninos, que são compostos polifenólicos solúveis em água, usados há centenas de anos (Clark, 2011). Pode-se citar o ácido tânico, o angico-vermelho e a cúrcuma como exemplos de plantas ricas em taninos, e, portanto, podem ser utilizadas como mordentes no tingimento têxtil.

Na busca por produtos que possam ser utilizados como matéria-prima para obtenção de corante natural, encontra-se o eucalipto, que se destaca por ser de rápido crescimento e

de fácil aclimação. O eucalipto se destaca no reino vegetal por sua grande importância no reflorestamento. São aproximadamente 700 espécies com reconhecimento botânico, as quais possuem propriedades químicas e físicas, fazendo com que o eucalipto seja utilizado como lenha, carvão vegetal, papel, celulose, geração de energia, fabricação de combustível, controle da erosão do solo, entre outros. Também, seus óleos essenciais são aplicados em áreas como a cosmética e medicina (Embrapa, 2019; Roy; Chakraborty; Pandit, 2021). A produção e colheita de árvores de eucalipto gera cerca de aproximadamente 30% de resíduo florestal, sendo que aproximadamente 12% desse resíduo é a casca da árvore, que na maioria das vezes é queimada ou deixada na floresta. (Lopes, 2022). Neste estudo, reaproveitou-se as cascas de eucalipto de uma cooperativa do Noroeste do Paraná, que seriam descartadas, para obtenção de um extrato natural para aplicação no tingimento de materiais têxteis.

Atualmente, a indústria da moda tem-se voltado a este tipo de produto proveniente de fontes naturais, buscando formas mais limpas em seus processos produtivos. Várias marcas de vestuário, tem apresentado propostas de produtos que utilizam corantes naturais, oriundas do reaproveitamento de resíduos agroindustriais, observando grande parte das soluções para as questões ambientais, além de assuntos relacionados à economia. Neste contexto, este trabalho possui como objetivo avaliar o potencial de utilização de resíduos de cascas de eucalipto como uma alternativa para a substituição de corantes sintéticos no tingimento de tecidos de seda e poliamida, visando uma minimização dos impactos ambientais.

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS E REAGENTES

Cascas de eucalipto classificadas em sua estrutura como resíduos foram utilizadas para extração do corante natural. Amostras de tecido plano de seda (52 GSM) e malha de poliamida (147 GSM) foram utilizadas nos experimentos, a poliamida foi pré-alvejada para a aplicação no tingimento. O ácido acético foi utilizado para correção do pH da solução de tingimento. O detergente não iônico Nionlab Celm foi utilizado para lavagem dos tecidos após o processo de tingimento e nos ensaios de solidez à lavagem. O ácido tânico, o angico vermelho e a cúrcuma foram utilizados como biomordentes.

2.2. EXTRAÇÃO DO CORANTE A PARTIR DO RESÍDUO DE CASCAS DE EUCALIPTO

Inicialmente, os resíduos foram secos em uma estufa a 60°C por aproximadamente 24 horas para retirada de umidade e posteriormente foram trituradas em liquidificador. O extrato foi obtido na temperatura de 90 °C, adicionando-se 40 g de cascas de eucalipto a 1 L de água destilada. A extração foi realizada em banho termostático 500/3D Nova Etica, sob agitação, durante 60 min. Por fim a mistura foi resfriada em temperatura ambiente e filtrada para obtenção do extrato para utilização no tingimento.

2.3. TINGIMENTO DOS MATERIAIS TÊXTEIS

2.3.1. Avaliação da influência do pH no tingimento

Os tingimentos foram realizados em diferentes valores de pH, nomeadamente 3, 4 e 6 a fim de avaliar a influência desta variável no rendimento colorístico. Os ensaios foram realizados na máquina de tingimento Kimak AT1-SW em um período de 60 minutos com temperatura de 90 °C, utilizando uma relação de banho de 1:100 e 40 g.L⁻¹ de cascas de eucalipto trituradas. Ao término do tingimento, as amostras foram lavadas com 2 g.L⁻¹ de detergente não iônico por 10 minutos a 60 °C e após esse processo, foram lavadas em água fria e secas à temperatura ambiente.

As amostras tintas foram avaliadas de acordo com a força colorística (K/S), obtida a partir dos dados de refletância espectral, adquiridos em um espectrofotômetro Delta Vista 450G, usando a equação de Kubelka-Munk (Equação 1).

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (1)$$

Onde, R = reflectância difusa, K = coeficiente de absorção, S = coeficiente de dispersão.

Uma vez que a tonalidade das amostras tingidas muda de acordo com as condições de tingimento, a intensidade da cor (I) também foi calculada, de acordo com a Equação (2), conforme descrito por Štěpánková (Štěpánková et al, 2011).

$$I = \sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} \frac{K}{S}(\lambda) * \Delta\lambda \quad \Delta\lambda = 10 \quad (2)$$

2.3.2. Avaliação da influência da pré-mordentagem

Extratos de angico vermelho e cúrcuma foram preparados em meio aquoso, adicionando-se 20 g de cada material em 1L de água destilada. A mistura foi então aquecida

em banho termostatzado durante 60 minutos à temperatura de 90°C. Após esse processo, a mistura foi filtrada e resfriada para utilização no processo de pré- mordentagem. O ácido tânico, por sua vez, foi dissolvido diretamente em água destilada na concentração de 20 g.L⁻¹.

A pré-mordentagem dos tecidos foi realizada na máquina de tingimento Kimak AT1-SW durante 45 minutos à temperatura de 90°C, utilizando uma relação de banho de 1:50. Após aplicação, as amostras foram enxaguadas e secas à temperatura ambiente.

Para avaliar a influência da pré-mordentagem nos resultados de cor, procedeu-se posteriormente ao tingimento das amostras pré-mordentadas com o extrato natural de cascas de eucalipto (40 gL⁻¹), à temperatura de 90 °C durante 60 minutos. Os dados colorimétricos das amostras após o tingimento foram avaliados utilizando o espectrofotômetro Delta Vista 450G.

2.4. ENSAIOS DE SOLIDEZ À LAVAGEM

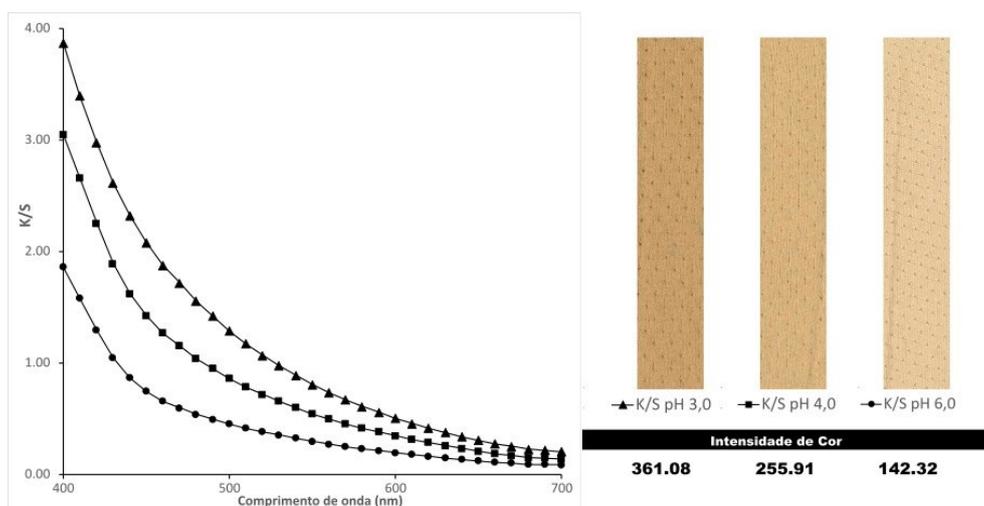
Os ensaios para avaliação da solidez à lavagem foram realizados no equipamento Kimak AT1-SW, durante 30 minutos, à temperatura de 40 °C, seguindo os procedimentos descritos na norma ISO 105-C06:2010 - Ciclo A1S, substituindo o detergente padrão definido pela norma por um detergente não-iônico, conforme recomendações de Jothi (2008). Terminado o ensaio, as amostras foram lavadas em água destilada e secas à temperatura ambiente. A avaliação da alteração de cor e do manchamento dos tecidos testemunhos foi realizada num espectrofotômetro de reflexão Delta Vista 450G.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. INFLUÊNCIA DO PH NO RENDIMENTO TINTORIAL

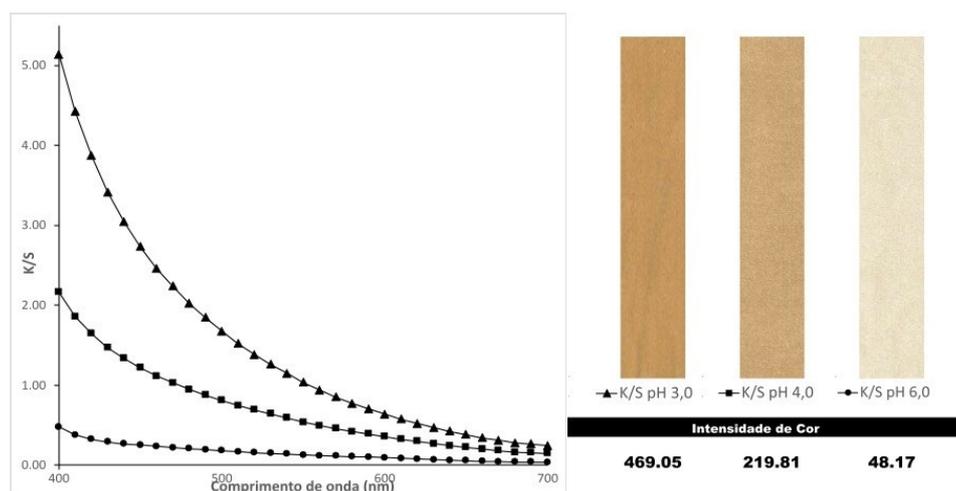
Os resultados da avaliação da influência do pH no tingimento das fibras de poliamida e seda com o extrato de resíduos de cascas de eucalipto, mostraram que para ambas as fibras, o rendimento tintorial aumentou com a diminuição do valor do pH, conforme pode ser observado pelas curvas de K/S e pela intensidade de cor (I) apresentadas nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Tingimento da poliamida com resíduos de cascas de eucalipto – Curva K/S, intensidade de cor e amostras tintas com diferentes valores de pH.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Tingimento da seda com resíduos de cascas de eucalipto – Curva K/S, intensidade de cor e amostras tintas com diferentes valores de pH.



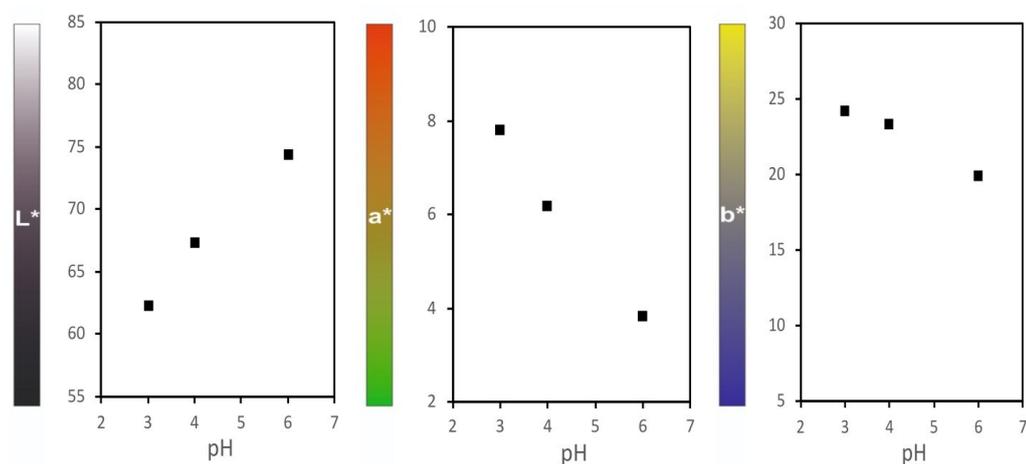
Fonte: Autoria própria.

Tanto para o tingimento da poliamida como para o tingimento da seda o melhor resultado foi obtido em pH 3,0, tendo a intensidade de cor apresentado o valor de 361,08 na poliamida (Figura 1) e 469,05 na seda (Figura 2). Estes resultados obtidos na fibra de seda, estão de acordo com os trabalhos de Hayat et al. (2022), que avaliaram a influência do pH no tingimento de seda com o corante natural obtido a partir das folhas de chá verde e obtiveram maior rendimento colorístico no tingimento a pH 3,0. Resultados semelhantes também foram obtidos por Silva et al. (2019) para o tingimento de tecidos de poliamida com os extratos de folhas de eucalipto e cascas de cebola.

O aumento do rendimento tintorial obtido com a diminuição do pH pode ser atribuído às características estruturais do corante e da fibra, uma vez que em condições ácidas os grupos amina terminais das fibras de poliamida e seda são protonados, podendo desta forma atrair corantes aniônicos, como é o caso da maioria dos corantes naturais. Por outro lado, o grau de protonação dos grupos amina terminais é consideravelmente reduzido com o aumento do pH, levando a uma diminuição da atração eletrostática entre o corante e a fibra, diminuindo o rendimento tintorial do processo (Needles, 1986; Hayat et al., 2022).

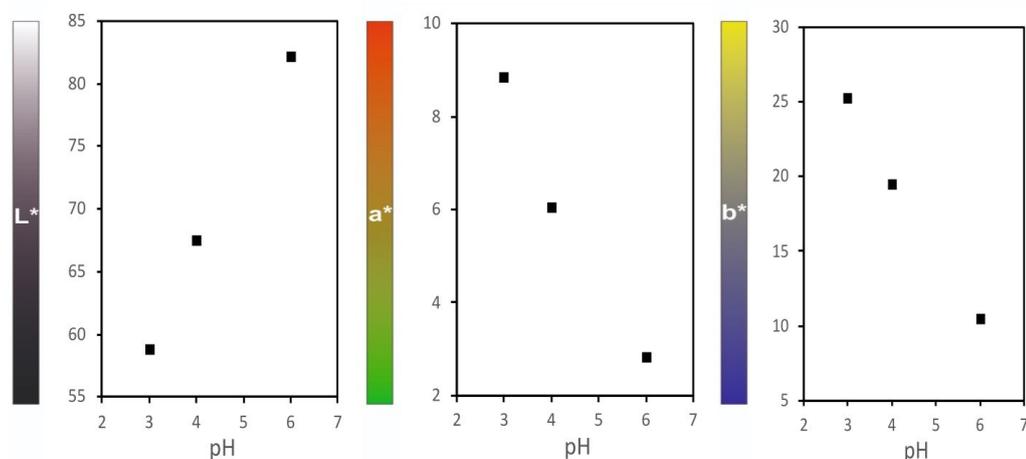
A análise das coordenadas cromáticas CIELab das amostras tingidas nas diferentes condições permite verificar que as tonalidades obtidas se alteram em função do pH da solução de tingimento, conforme pode ser observado nas Figuras 3 a 4 para o tingimento da poliamida e seda, respectivamente.

Figura 3: Representação do espaço de cor L*a*b* na fibra de poliamida



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Representação do espaço de cor L*a*b* na fibra de seda



Fonte: Autoria própria.

Os resultados das coordenadas CIELab mostraram que tanto para a seda como para a poliamida, as cores das amostras tingidas ficaram mais escuras (redução da coordenada L*), mais avermelhadas (aumento da coordenada a*) e mais amareladas (aumento da coordenada b*), com a diminuição do pH do banho de tingimento, evidenciando a alteração de tonalidade que ocorre em função da variação do pH do banho de tingimento.

3.2. INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE MORDENTES NO TINGIMENTO

As coordenadas CIELab, bem como a intensidade de cor (K/S) e as imagens dos tecidos de poliamida e seda tingidos com o extrato de cascas de eucalipto sem mordentagem e com a utilização de diferentes biomordentes estão apresentados na Tabela 1.

Segundo Vankar (2007), o mordente ideal deve produzir um grande rendimento de cor, e não deve comprometer seriamente as propriedades físicas das fibras. Além disso, mordentes diferentes irão produzir cores diferentes utilizando o mesmo tipo de corante, o que se pode observar analisando os resultados de cor.

Todos os biomordentes proporcionaram um aumento na intensidade de cor (I) das amostras tingidas. Para ambas as fibras tal aumento foi consideravelmente maior para o biomordente cúrcuma, seguido do ácido tânico e angico vermelho.

É possível verificar ainda que os biomordentes que proporcionaram maior alteração de tonalidade (valores de h) em relação à amostra tingida sem aplicação de mordentes foram o ácido tânico, seguido pelo angico-vermelho e cúrcuma. Ressalta-se que o ácido tânico foi o biomordente que mais alterou a cor da amostra tingida, tornando-a mais escura (diminuição da claridade L*), mais avermelhada (aumento da coordenada a*) e menos amarelada (redução da coordenada b*) em relação à amostra tingida sem mordentagem.

É possível analisar que, a diferença de croma (valores de C) em ambas as fibras, ficou mais saturada primeiramente pela aplicação do biomordente de cúrcuma, seguido pelo angico-vermelho e posteriormente pelo ácido tânico, quando comparadas com a amostra sem a aplicação de mordentes.

Tabela 1: Coordenadas CIELab e Intensidade de cor das amostras de poliamida e seda tingidas com extrato de cascas de eucalipto com e sem aplicação de mordentes.

| Fibra | Biomordente | Coordenadas de cor | | | | | I | Cor |
|-----------|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|---------|--|
| | | L* | a* | b* | C* | h | | |
| Poliamida | Sem mordente | 62,23 | 7,79 | 24,16 | 25,38 | 72,12 | 361,08 |  |
| | Ácido tânico | 33,76 | 10,62 | 12,43 | 16,35 | 49,50 | 1806,42 |  |
| | Angico vermelho | 43,75 | 8,64 | 16,82 | 18,91 | 62,82 | 919,29 |  |
| | Cúrcuma | 54,10 | 9,44 | 64,71 | 65,40 | 81,70 | 2998,74 |  |
| Seda | Sem mordente | 58,81 | 8,82 | 25,25 | 26,75 | 70,75 | 469,05 |  |
| | Ácido tânico | 41,37 | 12,28 | 15,76 | 19,98 | 52,09 | 1218,28 |  |
| | Angico vermelho | 47,71 | 11,32 | 22,41 | 25,11 | 63,21 | 691,52 |  |
| | Cúrcuma | 54,83 | 6,14 | 50,78 | 51,15 | 83,10 | 1306,97 |  |

Fonte: Autoria própria.

3.3. ENSAIOS DE SOLIDEZ À LAVAGEM

Os resultados dos ensaios de solidez à lavagem doméstica e industrial, das amostras de poliamida e seda tingidas com extrato de cascas de eucalipto encontram-se representados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente.

Tabela 2: Ensaio de solidez à lavagem das amostras de poliamida tingidas com o corante de cascas de eucalipto

| Amostra | Mordente | Solidez à lavagem | | | | | | |
|-----------|-----------------|-------------------|---------------------------|-----|-----|----|-----|-----|
| | | Alteração | Manchamento do Testemunho | | | | | |
| | | | WO | PAC | PES | PA | CO | CA |
| | Sem mordente | 4-5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4-5 | 4-5 |
| Poliamida | Ácido tânico | 5 | 3-4 | 4-5 | 4-5 | 4 | 5 | 4-5 |
| | Angico-vermelho | 3 | 3-4 | 4-5 | 4-5 | 4 | 4-5 | 4-5 |
| | Cúrcuma | 5 | 3 | 4 | 2-3 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Ensaio de solidez à lavagem das amostras de seda tingidas com o corante de cascas de eucalipto

| Amostra | Mordente | Solidez à lavagem | | | | | | |
|---------|-----------------|-------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Alteração | Manchamento do Testemunho | | | | | |
| | | | WO | PAC | PES | PA | CO | CA |
| Seda | Sem mordente | 4-5 | 3 | 4-5 | 5 | 3 | 4-5 | 4-5 |
| | Ácido tânico | 3 | 3-4 | 5 | 4-5 | 4 | 4-5 | 4-5 |
| | Angico-vermelho | 4-5 | 4 | 5 | 4-5 | 3-4 | 4-5 | 4-5 |
| | Cúrcuma | 3 | 2-3 | 2-3 | 1-2 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: Aatoria própria.

Em geral, os índices de solidez à lavagem podem ser considerados de notas razoáveis a boas, com exceção das amostras pré-mordentadas com cúrcuma, que apresentaram uma baixa solidez, com índices de manchamento dos tecidos testemunho variando de 1 a 4.

A aplicação dos biomordentes não influenciou positivamente nos resultados de solidez dos tecidos tingidos. Por outro lado, a boa solidez do tingimento com o extrato das cascas de eucalipto sem a aplicação de mordentes possivelmente se deve ao fato de que esse corante contém taninos, que podem ajudar na formação de ligações covalentes com as fibras, o que resulta em boa fixação no material fibroso.

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o resíduo proveniente da madeira de eucalipto é uma fonte potencial de corante natural para o tingimento de fibras de poliamida e seda, produzindo nos tecidos uma coloração marrom amarelada, maior intensidade de cor no tingimento a pH 3 e bons níveis de solidez à lavagem sem a utilização de mordentes.

A aplicação dos biomordentes no pré-tratamento dos tecidos promove aumento da intensidade de cor, bem como alteração de tonalidade dos tecidos após o tingimento, contudo não proporciona melhoria nas propriedades de solidez à lavagem dos tecidos tingidos, não sendo, portanto, necessários para este fim.

Como perspectivas futuras, sugere-se que sejam testados outros tipos de biomordentes e que também sejam testados os demais parâmetros de solidez, nomeadamente, fricção, luz, resistência ao suor.

REFERÊNCIAS

A importância dos ODS para a indústria têxtil, FEBRATEx SUMMIT, 2023. Disponível em: <https://www.febratexsummit.com.br/a-importancia-dos-ods-para-a-industria-textil/>. Acesso em: 10 de out. 2023.

- AFONSO, S. R. **Análise sócio-econômica da produção de não madeireiros no cerrado brasileiro e o caso da cooperativa de pequi em Japonvar**. 2008. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- BULUT, M.O.; AKAR, E., 2012. Ecological dyeing with some plants pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric. **Journal of Cleaner Production**, 2012, n 32, p. 1-9.
- COSTA, A. R. S. V. **Tingimento de Fibras Têxteis Com Prodigiosina Produzida Por Serratia Plymuthica**, uBibliorum, 2019. 101 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2020.
- DOGNINI, D.; LOPO, W.; PAZA, R. O uso do eletrólito no tingimento de corantes naturais. **Química Têxtil, Barueri**, v. 132, n. 42, p. 6-16, 2018.
- FIGUEIREDO, L. D. **Uso de Resíduos Florestais de Eucalipto**, ESALQ Junior Florestal. Disponível em: <https://www.esalqjrflorestal.org.br/post/uso-de-res%C3%ADduos-florestais-de-eucalipto>. Acesso em: 05 de dez. 2023.
- GIACOMINI, F. **Estudo comparativo do tingimento com corante cochonilha em tecido de algodão cationizado com polímeros naturais**, 2019. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá – Maringá, 2019.
- GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 71-78, 2000.
- HAYAT, T. *et al.* Waste black tea leaves (*Camelia sinensis*) as a sustainable source of tannin natural colorant for bio-treated silk dyeing. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 29, p. 24035–24048, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-17341-5.
- JENA, *et al.* Ecofriendly Processing of Textiles. **Materials Today: Proceedings**, v.2, p. 1776-1791, 2015.
- JOTHI, D. Extraction of natural dyes from African marigold flower (*Tagetes Erecta L*) for textile coloration. **Autex Research Journal**, 2008 p.49–53.
- LOPES, M. I. B. **Desenvolvimento e caracterização de tintas funcionais naturais para aplicação têxtil**, 2022. 90 p. Dissertação (Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química) – Universidade do Minho, 2022.
- O eucalipto**, Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>. Acesso em: 05 dez. 2023.
- O que são ODS e qual é o papel da indústria têxtil**, Delta Máquinas Têxteis, 2023. Disponível em: <https://deltamaquinastexteis.com.br/ods/>. Acesso em: 10 out. de 2023.

Os objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil, ONU, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br>. Acesso em: 15 jan. 2023.

PAOLINI, N. M. **Produção de colorantes naturais**. 2022. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - UNESP, Araraquara. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/23a6c836-1e5b-44e5-9f9c-5eacfd824c84/content>. Acesso em: 18 dez. de 2023.

QUEIROZ, M. T. A. *et al.* Gestão de resíduos da indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudos de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, 2016. v. 8, n. 15, p. 114-135.

RIBEIRO, I. **Técnicas e saberes tradicionais na produção de cores**. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Artes Visuais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

ROSSI, T. Moda brasileira deve se desenvolver em nichos de mercado, diz consultora, **The Epoch Times**. São Paulo, 22 jun. 2013. Disponível em: <https://www.epochtimes.com.br/moda-brasileira-deve-se-desenvolver-em-nichos-de-mercado-diz-consultora/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

ROY M. S.; CHAKRABORTY, L.; PANDIT, P. Evaluation of Cellulosic and Protein Fibers for Coloring and Functional Finishing Properties Using Simultaneous Method with Eucalyptus Bark Extract as a Natural Dye. **Fibers Polym.** 22 (3), p 711–719, 2021.

SACHAN, K.; KAPOOR, V. P. Optimization of extraction and dyeing conditions for traditional turmeric dye, **Indian Journal of Traditional Knowledge**, 2007. v.6, n.2, p.270-278.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil – Fibras, conceitos e tecnologia**. 1. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

SAMANTA, A. K.; KONAR, A. Dyeing of textiles with natural dyes. **Natural dyes**, v. 3, n. 30-56, University of Calcutta, India, 2011.

SANTOS, C. B. **Impressão botânica em têxteis**, 2018. 58 f. Monografia (Curso de Tecnologia em Produção Têxtil), Americana, 2018.

SARTORI, C. *et al.* Chemical Characterization of the Bark of Eucalyptus Urophylla Hybrids in View of Their Valorization in Biorefineries. **Holzforschung**, 2016, 70 (9), 819–828. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/hf-2015-0258>.

SCHIMIDT, M. *et al.* **Influência da utilização do mordente cloreto de sódio em tingimento natural com cúrcuma em substrato de algodão e poliamida**, 18º Congresso Nacional de Meio ambiente, 2021.

SCHULTE, N. K.; LOPES, L. D. Sustentabilidade ambiental: um desafio para a moda. **Modapalavra e-periódico**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 31-42 ago./dez. 2008.

- SHAHID, M. ISLAM, S. MOHAMMAD, F. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of Cleaner Production**. New Delhi, 2013. v. 53, p.310-331.
- SHOLIKHAH, R. *et al.* The impact of the use of different mordant types on the ecoprint dyeing using tegeran (*Cudraina javanensis*) dye on primisima fabric. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**.
- SILVA, M. G. **Tingimento de seda e lã com corante natural de eucalipto**. 2013. 97 p. (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- SILVA, M. G.; SANTOS, J. G.; SOARES, G. Green Dyeing of Polyamide with Increased Anti-UV Properties. In: (Jinlian Hu, Ed.)THE FIBER SOCIETY 2019 SPRING CONFERENCE 2019, **Anais...** : The Hong Kong Polytechnic University Venue, 2019.
- SINGH, S.; SINGH, D. R. Application of natural mordants on textile. **International Journal of Applied Home Science**, v. 5, n. 1, p. 252–260, 2018.
- SOUZA, T. C. V. *et al.* A sustentabilidade na indústria da moda e o ressurgimento dos corantes naturais: desafios e possibilidades no século XXI. **dObra[s] – revista da Associação Brasileira de Estudos de Pesquisas em Moda**, [S. l.], n. 32, p. 66–87, 2021.
- ŠTEPÁNKOVÁ, M.; WIENER, J.; RUSINOVÁ, K. 2011. **Decolourization of vat dyes on cotton fabric with infrared laser light**, *Cellulose*, v. 18, n.2, p 469-478, 2011.
- TRUGILHO, P. F. *et al.* Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. **Universidade Federal de Lavras**. v.3, n.1, p. 1–13, 1997.
- VANKAR, P. S. **Handbook on natural dyes for industrial applications**. India: National Institute of Industrial Re, 2. ed. 2007.
- VENKATASUBBU, G. D.; ANUSUYA, T. Investigation on curcumin nanocomposite for wound dressing, **International Journal of Biological Macromolecules**, p 366-378. 2017.
- ZANELLA, P. S. **Governança global na busca pelo desenvolvimento sustentável na indústria têxtil**, Livros abertos, 2019. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/download/951/862/3134?inline=1>. Acesso em: 15 de jan. 2024.
- ZANIRATO, S. H. **Moda e sustentabilidade, um diálogo paradoxal?** In: I. G Simili; R. S. Vasques (Orgs). *Indumentária e Moda: caminhos investigativos*. Maringá: EDUEM, 2013.
- ZARKOGIANNI, *et al.* Colour and fastness of natural dyes: revival of traditional dyeing techniques. **Coloration Technology**, v. 127, n. 1, p. 18–27, 2010.

CAPÍTULO X

FUNCIONALIZAÇÃO DE MATERIAIS TÊXTEIS A PARTIR DE PRODUTOS NATURAIS

FUNCTIONALIZATION OF TEXTILE MATERIALS FROM NATURAL PRODUCTS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-10

Gabriela Rodrigues da Silva ¹

Nívea Taís Vila ²

Alexandre Jose Sousa Ferreira ³

Márcia Gomes da Silva ⁴

¹ Graduada em Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

² Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

⁴ Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

RESUMO

Com a crescente busca pela sustentabilidade, os corantes naturais e os biomordentes vêm sendo cada vez mais estudados quanto às suas funcionalidades e considerados como uma alternativa mais ecológica para indústria têxtil, demonstrando capacidade de conferir propriedades funcionais. Diversas plantas mostram resultados promissores no tingimento de têxteis, podendo tornar-se uma alternativa viável para substituição de corantes sintéticos. A funcionalização de materiais têxteis é um processo que visa conferir propriedades específicas, tais como proteção UV, ação antibacteriana e repelência de insetos. O objetivo desta pesquisa foi, portanto, realizar uma revisão bibliográfica narrativa para evidenciar as principais vantagens e funcionalizações de materiais têxteis tingidos com corantes naturais, assim como o desempenho desses materiais. Para isso, buscou-se o máximo de artigos com dados relevantes nas literaturas científicas atuais sobre o assunto, apresentando-os de modo sistêmico. Como resultado, observou-se que os corantes naturais têm muitas vantagens e capacidade de revolucionar a indústria têxtil, no entanto, necessitam de mais estudos para garantir alguns fatores como estabilidade e a durabilidade em tecidos tingidos após ciclos de lavagens.

Palavras-chave: Funcionalização, corante natural, biomordente.

ABSTRACT

In the wake of an escalating quest for sustainability, natural dyes and bio-mordants are undergoing intensified scrutiny for their functionalities, emerging as an increasingly sought-after, eco-conscious alternative within the textile industry. These alternatives exhibit prowess in endowing textiles with functional attributes, signaling a paradigm shift towards greener practices. Diverse botanical sources display promising outcomes in textile dyeing, presenting a compelling potential for supplanting synthetic dyes. The process of textile material functionalization, aimed at bestowing specific properties such as UV resistance, antibacterial efficacy, and insect repellence, takes center stage in this transformative endeavor.

The primary goal of this research, therefore, is to elucidate the principal advantages and functional enhancements associated with textiles dyed using natural pigments, coupled with an exploration of their overall performance. To attain this, an exhaustive examination of contemporary scientific literature was undertaken, systematically presenting relevant findings. The outcome reveals that natural dyes harbor multifaceted advantages and possess the capability to revolutionize the textile landscape. Nonetheless, a critical need for further exploration persists, particularly in ensuring the stability and durability of dyed fabrics throughout repeated washing cycles.

Keywords: Functionalization, natural dye, biomordant.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é considerada uma das mais poluentes do mundo, sendo sua pegada ecológica causada pelo alto uso de energia, água e produtos químicos, gerando diversos resíduos poluentes. Consequentemente, tem o papel ativo de cerca de 10% e é responsável por emitir aproximadamente 1,7 milhões de toneladas por ano de CO₂ e 92 milhões de toneladas de resíduos, sendo também classificada como a segunda maior consumidora de água (Niinimäki et al., 2020). De acordo com a United Nations Environment Programme (UNEP), cerca de 20% de efluentes residuais industriais em água são provenientes da indústria têxtil, a qual tem o setor de beneficiamento como um dos geradores de efluentes tóxicos, descartando produtos que detêm alta carga poluidora (UNEP, 2018).

Desse modo, as empresas têxteis têm enfrentado fortes críticas devido ao impacto ambiental que causam. Questões ambientais, sobretudo relacionadas aos processos industriais e aos agentes utilizados durante as etapas de beneficiamento têxtil, têm sido alvos de normas e restrições ecológicas. Assim, com a urgência em diminuir a toxicidade dos resíduos, tem crescido o interesse por aplicação de produtos naturais, principalmente em setores como o tingimento e processos de acabamento (Gomes, 2022).

A fabricação de corantes sintéticos engloba uma série de reações químicas, onde se utiliza derivados de fontes petroquímicas. Esses processos consomem uma quantidade considerável de energia e resultam em liberações de produtos químicos altamente tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente. A problemática acerca desse assunto e a crescente conscientização da sociedade sobre a questão da sustentabilidade tem estimulado pesquisadores a explorarem a viabilidade de aplicação de corantes naturais em tingimentos têxteis, visando um futuro mais ecologicamente consciente e sustentável (Samanta, 2020).

Os corantes naturais já eram utilizados por civilizações antigas em têxteis após o desenvolvimento de técnicas de tecelagem. A principal fonte de obtenção desses corantes eram as partes de plantas como folhas, raízes, frutas, flores, entre outras, sendo responsáveis por produzir diferentes cores (Yadav et al., 2023).

Os corantes naturais, além de conferir cores aos têxteis, também detêm o potencial de agregar propriedades funcionais, tais como atividade antimicrobiana, proteção ultravioleta (UV), repelência a insetos, entre outras, despertando cada vez mais o interesse do consumidor. Entretanto, esses corantes possuem certas limitações que ainda devem ser

estudadas para garantir uma padronização adequada, buscando melhorar parâmetros como rendimento de cor, estabilidade, técnicas de tingimento e mordentes mais adequados (Che e Yang, 2022).

Apesar das perspectivas promissoras relacionadas às propriedades funcionais dos têxteis tingidos com corantes naturais, há questões relacionadas à estabilidade desses corantes que necessitam ser estudadas com mais complexidade. Entretanto, uma adequada combinação entre corantes, tecidos e mordentes desempenha um papel fundamental melhorando a estabilidade de cor diante dos processos de lavagem (Pargai et al., 2020).

Neste contexto, ao longo deste trabalho buscou-se realizar uma revisão bibliográfica do tipo narrativa sobre os estudos científicos relacionados a produtos naturais utilizados como corantes para tingimento em tecidos, com a finalidade de demonstrar os materiais utilizados no processo e quais as funcionalizações que estes podem proporcionar aos tecidos tingidos, organizando estas informações. O trabalho se justifica pelo fato de que nos últimos tempos a sustentabilidade e a preocupação com o meio ambiente se tornou um assunto de muita importância. Desse modo, como a indústria têxtil é conhecida pelo seu alto impacto ambiental devido ao uso de diversos produtos químicos, busca-se explorar a funcionalização a partir de produtos naturais para tentar reduzir o uso desses produtos químicos. Além disso, com o crescimento da conscientização sobre os impactos causados ao meio ambiente, há uma demanda cada vez maior por materiais produzidos a partir de fontes naturais e sustentáveis.

2. CORANTES NATURAIS

Existe uma crescente preocupação com os impactos causados ao meio ambiente, sendo assim, a indústria têxtil vem se preocupando cada vez mais com os problemas causados pelos corantes sintéticos usados durante o processo de beneficiamento (Viana, 2012). Desse modo, o tingimento natural pode ser considerado como uma alternativa sustentável dentro da indústria têxtil, trazendo assim uma diminuição na utilização de corantes sintéticos que acabam gerando efluentes tóxicos (Balan, 2017).

Os corantes naturais são por definição encontrados na natureza e podem ser extraídos de fontes vegetais, animais ou minerais. A extração desse tipo de corante ocorre através de processos físico-químicos podendo ser por dissolução, precipitação e outros, ou também por processos bioquímicos, tal como a fermentação. Para a realização da extração, é necessário

que a substância utilizada seja solúvel em meio líquido, sendo possível torná-la um corante natural e posteriormente aplicá-la no material têxtil (Nogueira et al., 2017).

Além disso, o tipo de fibra pode também influenciar no tingimento, por exemplo, tecidos e fios de fibras animais conseguem obter cores mais vibrantes mesmo sem a utilização de fixadores, que também são chamados de mordentes. Isso é explicado pelo fato dessas fibras serem compostas de proteínas, que naturalmente conseguem fixar o pigmento. Contrariamente, as fibras vegetais que são compostas por celulose, possuem dificuldade de fixação do corante, sendo necessário o uso de produtos fixadores (Marina, 2021).

Há diversos vegetais com capacidade de serem utilizados como corante, alguns deles são: urucum, cúrcuma, beterraba, jenipapo e muitos outros (Faria e Costa, 1998). Para a realização da extração do corante são utilizadas folhas secas ou raízes trituradas, as quais são diluídas em água para a obtenção do corante (Narimatsu et al., 2022).

A grande limitação que a indústria têxtil enfrenta é que alguns corantes naturais apresentam um nível baixo de fixação na fibra, o que conseqüentemente contribuiu para o uso de corantes artificiais e sintéticos (Duarte, 2021).

Na Figura 1 se observa alguns exemplos de materiais tingidos utilizando corantes naturais.

Figura 1: Tingimento com corantes naturais.



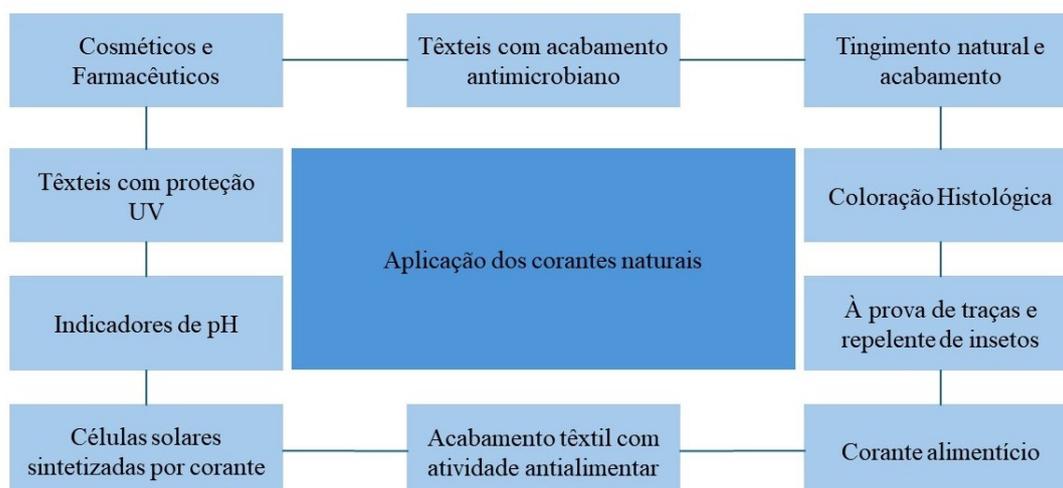
Fonte: Leite (2019).

Os corantes naturais exibem uma notável biodegradabilidade e, por sua própria natureza, são caracterizados como ecologicamente corretos. Além de apresentarem toxicidade mínima, conferem tons suaves e atrativos, podendo ser empregados em segmentos variados, como tingimento têxtil, acabamento antimicrobiano de têxteis,

vestimentas de proteção UV, indústrias de cosmético e farmacêutica, entre outros, conforme pode ser visualizado na Figura 2 (Repon et al., 2023).

Os corantes naturais têm ampla aplicação na coloração da maioria das fibras naturais e, em certa medida, nas fibras sintéticas de poliamida e poliéster. Entretanto, encontra-se alguns desafios em relação à reprodutibilidade da tonalidade, à inexistência de um procedimento normalizado bem definido para a aplicação e o fraco desempenho na durabilidade da tonalidade sob exposição à água e à luz. A obtenção de cores sólidas e que resistam às lavagens e à luz é um grande desafio para os especialistas em tingimento. Vários pesquisadores têm proposto alguns métodos de preparação e parâmetros de processo, mas ainda se mantém escassas as informações, sendo necessário o desenvolvimento de uma técnica padronizada de extração de corantes para o tingimento natural dos têxteis ser eficiente (Gupta, 2019).

Figura 2: Aplicação dos corantes naturais.



Fonte: adaptado de Repon *et al.*, (2023).

3. MORDENTES E BIOMORDENTES

Os mordentes desempenham um papel importante dentro da indústria têxtil, sendo utilizados para melhorar a fixação de corantes nos tecidos, permitindo que as fibras absorvam e mantenham as cores, já que alguns corantes não se fixam na fibra quando são aplicados diretamente. As fibras que mais apresentam essa dificuldade de fixação de corantes são as de origem animal e vegetal, sendo necessário muitas vezes adicionar mordentes (De Araújo, 2006).

Mordentes são substâncias químicas que melhoram a absorção do corante no tecido, e alguns corantes necessitam de uso deles pois possuem solidez limitada e têm sua cor “desbotada” com a lavagem e exposição à luz. Essas substâncias podem ser aplicadas antes, durante ou após o tingimento, melhorando tais propriedades (Choudhury et al., 2018). O uso desses mordentes proporciona afinidade entre fibra e corante e podem alterar a tonalidade final da fibra (Shahid et al., 2013).

Nos tempos mais antigos, os mordentes eram obtidos a partir de produtos naturais, onde cinzas de madeira e urina velha podem ter sido utilizadas como mordentes alcalinos. Já os mordentes ácidos, poderiam ser extraídos de frutas ácidas ou folhas de ruibarbo. De modo geral, a maioria dos corantes naturais necessitam da aplicação de mordentes químicos, tais como alúmen, sulfato de cobre, ferro ou cromo, para garantir fixação nos tecidos e assim melhorar o tingimento (Choudhury et al., 2018).

Atualmente há um interesse crescente sobre mordentes ecologicamente corretos e que possam substituir os mordentes de metais pesados. Portanto, os biomordentes vem ganhando destaque por sua biodegradabilidade em comparação com os mordentes metálicos (Periyasamy, 2022). As fontes biomordentes são plantas que possuem alto teor de tanino, o qual se trata de um composto polifenólico solúvel em água, podendo ser encontrado em diversas partes de plantas, tais como casca de madeira, frutas, folhas e raízes (Paul, 2015, Copini, 2018). Muitos materiais naturais podem ser estudados e desenvolvidos para serem utilizados como mordentes para o processo de tingimento, não apenas em fibras celulósicas, mas também em outros tipos de fibras.

4. FUNCIONALIZAÇÃO DE TÊXTEIS

A indústria têxtil está sempre buscando por técnicas inovadoras para melhorar a qualidade e produzir novos produtos, sendo de extrema importância que estes sejam desenvolvidos de forma a não prejudicar o meio ambiente. Neste contexto, além da função tradicional de vestir pessoas, os têxteis podem proporcionar conforto e proteção em ambientes perigosos (Paul, 2015).

A funcionalização de têxteis é a capacidade que estes apresentam de desempenhar uma determinada função e é através disso que são conferidas propriedades específicas ao tecido. É importante para a área têxtil, onde constantemente tem surgido produtos cada vez mais funcionais, por exemplo, com propriedades de proteção UV e antibactericida (Azevedo,

2016). Essas propriedades funcionais são incorporadas ao tecido através de diversas técnicas, tais como: micro e/ou nano encapsulação, polimerização, cationização, tingimento com alguns tipos de extratos naturais, tratamento com plasma, eletrofiação e outras nanotecnologias (De Oliveira e Tavarina, 2023).

Além disso, devido a sustentabilidade, a indústria têxtil vem estudando a aplicação de produtos naturais em processos de tingimento e acabamentos em têxteis. Diversos extratos de vegetais são utilizados como corantes em diferentes fibras, sendo possível obter propriedades funcionais como proteção UV, atividade antimicrobiana e outras através da aplicação desses produtos (Haji e Bahtiyari, 2021).

4.1. PROTEÇÃO UV

Uma das formas mais seguras de se proteger contra a radiação ultravioleta é utilizando artigos têxteis, seja por meio de roupas e/ou acessórios. Neste contexto, a proteção depende de alguns parâmetros, tais como fibra utilizada, construção do tecido e tingimento, podendo este último ser utilizado corantes naturais ou sintéticos conferindo proteção UV (Grifoni et al., 2011). Os corantes obtidos de extratos naturais não apenas adicionam cores aos têxteis, mas também podem ser responsáveis por conferir-lhes propriedades funcionais, como é o caso da proteção UV (Silva, 2018).

Pesquisas confirmam que a cor de materiais têxteis tem certa importância na prevenção de transmissão de radiação ultravioleta, assim evidenciando que tecidos tingidos fornecem um maior fator de proteção UV do que aqueles não tingidos (Grifoni et al., 2014). Um tecido é categorizado com fator de proteção UV excelente quando o UPF deste está entre 40 e 50+ (Kamal Alebeid e Zhao, 2015).

De acordo com Gong et al. (2019), há uma correlação entre a intensidade de cor K/S e o UPF, pois quanto mais escura for a cor maior será o fator de proteção UV.

Segundo Mia et al. (2022), o corante natural extraído do sebo das cascas de *Triadica Sebifera* em extrato aquoso e aplicado em tecidos de viscose, apresentou bons valores de solidez à lavagem, à fricção e à luz. Além disso, no processo utilizou-se mordentes químicos e as três técnicas conhecidas de mordentagem, sendo a pós-mordentagem a que forneceu melhor resultado. Esse corante conferiu também proteção UV com um fator de UPF de 48,50.

Dulo et al. (2022), evidenciam em seus estudos a aplicação do corante natural extraído das cascas de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.), do coco (*Cocos nucifera* L.), do

amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e da macadâmia (*Macadamia integrifolia* L.) feito em tecidos de sarja de 100% lã penteada. Esses materiais foram triturados e peneirados para obtenção do pó. A extração foi feita através de uma solução etanol/água a 90°C por 60 minutos. Os mordentes de sulfato de alumínio, sulfato ferroso e quitosana foram aplicados no processo. Comparou-se que os tecidos de lã não tingidos apresentaram valores baixos de UPF, enquanto os tingidos e mordentados, utilizando mordentes biológicos e metálicos apresentaram aumento na capacidade de proteção UV.

Estudos realizados por Gong et al. (2019), consistiram em analisar as alterações no tingimento feito através das folhas de *Cinnamomum Camphora*, as quais foram trituradas em diferentes idades foliares: jovem, madura e velha. As soluções de corantes foram preparadas utilizando etanol (folhas jovens), ácido acético (folhas maduras) e carbonato de sódio (folhas velhas). Tanto os tecidos de seda quanto os de lã absorveram os corantes naturais e, todas as amostras tingidas, independentemente da idade foliar, apresentaram aumento na proteção UV comparada com as não tingidas, mesmo após armazenagem e lavagens.

Oliveira et al. (2022) empregaram os frutos verdes do jenipapo (*Genipa americana* L.) no tingimento em tecidos de algodão. O corante foi extraído em água destilada e, necessitou da adição de glicina na mistura para obtenção da cor azul. A influência da temperatura neste tingimento mostrou que até 80°C a exaustão do banho de tingimento aumentou com o aumento da temperatura, no entanto, nas temperaturas de 90 e 100°C a coloração do corante foi perdendo sua tonalidade. Em relação ao pH, o corante se mostrou mais eficiente em amostras tingidas sob condições ácidas do que alcalinas. As amostras sem tingir apresentaram valor médio de UPF de 29,33, o que é considerado muito bom de acordo com a norma. Após o tingimento o fator de proteção aumentou para 74, sendo considerado como excelente.

Nos estudos de Otaviano (2021), cascas de romã (*Punica granatum* L) foram moídas e o corante foi extraído utilizando água deionizada. Foram feitas análises da concentração e pH do corante, sendo que a concentração que apresentou maior força colorística foi a de 100% comparado com outras testadas. Já referente ao pH, com o aumento deste, mais escuro o extrato de corante vai ficando, o que por sua vez influencia no tingimento das amostras. Com a concentração de 100% e variando o pH, analisou-se a influência de mordentes como ZnO, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ e $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ no processo de tingimento. Assim, verificou-se que o ciclo de lavagens interfere na propriedade fotoprotetora das amostras, pois apenas algumas amostras conseguiram manter a propriedade de proteção UV após processos de lavagens.

De acordo com estudos realizados por Dos Santos e Leite (2023), sementes de Urucum (*Bixa orellana*) e pó de açafrão (*Cúrcuma longa* L.) podem ser aplicados como corantes naturais e conferir aumento do fator de proteção UV em tecidos de algodão. Seu estudo evidenciou a presença de bixina, norbixina e curcumina, que são associados a proteção UV. Assim, constatou que a aplicação desses vegetais proporciona aumento de proteção contra a radiação ultravioleta, sendo considerado adequado de acordo com a norma.

Em estudos realizados por Karabulut e Atav (2020), foram testadas 40 plantas diferentes como corante natural, todos aplicados em tecidos de algodão e sem o uso de qualquer mordente. O experimento evidenciou que algumas dessas plantas são capazes de tingir o algodão e conferir altos valores de rendimento de cor, sendo o Areca catechu, índigo (*Indigofera tinctoria*), myrobalan (*Terminalia citrina*), casca de romã (*Punica granatum*), cúrcuma (*Curcuma Longa*) e casca de cebola branca (*Allium cepa*) as que apresentaram resultados de solidez mais interessantes. Além disso, as cascas de cebola branca e a cúrcuma foram empregadas no tecido de algodão para testes de proteção UV e forneceram um valor de UPF muito elevado.

Segundo experimentos feitos por Do et al. (2023a), o tingimento em tecidos de seda com o corante natural extraído do inseto cochonilha (*Laccifer lacca* Kerr) apresentou resultados interessantes de proteção UV e atividade antimicrobiana, sendo aplicado em tecidos de seda pura e em tecido de seda pré-tratados com quitosana. Assim, em seu estudo o melhor rendimento de cor foi nas seguintes condições: extração por 120 minutos à temperatura de 80°C e com o pH 7. O pH neutro se mostrou mais eficiente no rendimento e o autor diz que possivelmente a explicação para isso é a existência das antraquinonas na forma de moléculas neutras e a instabilidade das moléculas de antraquinonas em meios ácidos e básicos. Os resultados de proteção UV mostraram que o tecido de seda sem tingimento apresentou valor de UPF igual a 9,9, sendo categorizado como baixa proteção. O tecido que foi somente tingido apresentou um excelente valor de UPF (63,9), assim como o tecido mordentado com quitosana e tingido alcançou um valor de 185,4.

Shabbir et al. (2018) estudaram a capacidade de acabamento anti-UV em tecidos de lã tingidos com corante natural extraído das flores de calêndula (*Tagetes Erecta*). O corante forneceu cores naturalmente amareladas devido a presença de compostos carotenoides, e através da aplicação de mordentes de sais metálicos se conseguiu novas paletas de cores, bem como uma maior adsorção do corante. O tingimento do tecido de lã com esse corante

utilizando a técnica de pré-mordentagem, apresentou ótimos valores de solidez e capacidade funcional de proteção UV. O tecido não tingido mostrou uma baixa classificação contra a radiação ultravioleta, porém aumentou significativamente com a aplicação do corante e de acordo com as concentrações 10, 15 e 20% o fator de proteção foi de 50+, o que é caracterizado como excelente. Além disso, o tecido tingido que recebeu o mordente de sulfato de ferro foi o que apresentou maior UPF quando comparado com o alúmen e cloreto estanso.

De acordo com Fiori et al. (2021), o tingimento com as folhas de teca (*Tectona grandis*) extraídas em extrato aquoso tem a capacidade de conferir propriedade de proteção em tecidos de lã e de poliamida 6.6. O estudo buscou otimizar o processo de extração, tendo a temperatura de 100°C fornecido melhor eficiência, além disso, o melhor pH para poliamida foi o 5 e para a lã foi o 3, produzindo assim melhores valores de intensidade de cor. Quanto a análise de proteção UV, foi verificado que os tecidos de lã e de poliamida já apresentavam um fator de proteção considerado excelente pela norma AS/NZS 4399:1996, equivalente a 43 e 60, respectivamente. No entanto, após o tingimento essa proteção teve um aumento muito significativo, demonstrando que o corante natural de teca quando aplicado em tecidos de lã e de poliamida tem a funcionalidade de bloquear a radiação ultravioleta.

De acordo com Fang et al. (2022), as folhas trituradas de batata doce (*Ipomoea batatas*) são fonte de corante natural com coloração verde e apresenta propriedade funcional sem a utilização de qualquer mordente no processo. A extração deste ocorreu por banho-maria termostático e analisou-se todos os parâmetros que podem influenciar o tingimento. Os pesquisadores observaram a influência do corante em tecidos de lã, poliéster, poliamida, seda e algodão, porém, apenas os três primeiros apresentaram resultados adequados de proteção UV e, mantiveram sua classificação mesmo após ciclos de lavagens.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados mais interessantes encontrados de estudos anteriores sobre materiais têxteis que adquiriram proteção UV através de corantes naturais.

Tabela 4: Propriedade de proteção UV em materiais têxteis utilizando corantes naturais.

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Proteção UV | Referências |
|----------------------------------|---------|--------|-------------|--------------------|---------------------|
| <i>Triadica Sebifera</i> | Vegetal | Cascas | Viscose | Excelente proteção | Mia et al., (2022) |
| <i>Arachis hypogaea L.</i> | Vegetal | Cascas | Lã penteada | Muito boa proteção | Dulo et al., (2022) |
| <i>Anacardium occidentale L.</i> | Vegetal | Cascas | Lã penteada | Muito boa proteção | Dulo et al., (2022) |

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Proteção UV | Referências |
|----------------------------------|---------|----------|-------------|--------------------------|--------------------------------|
| <i>Cocos nucifera</i> L. | Vegetal | Cascas | Lã penteada | Muito boa proteção | Dulo <i>et al.</i> , (2022) |
| <i>Macadamia integrifolia</i> L. | Vegetal | Cascas | Lã penteada | Muito boa proteção | Dulo <i>et al.</i> , (2022) |
| <i>Cinnamomum Camphora</i> | Vegetal | Folhas | Seda e Lã | Excelente proteção | Gong <i>et al.</i> , 2019. |
| <i>Genipa americana</i> | Vegetal | Frutos | Algodão | Excelente proteção | Oliveira <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Punica granatum</i> L. | Vegetal | Cascas | Algodão | Boa e muito boa proteção | Otaviano, 2021. |
| <i>Bixa orellana</i> | Vegetal | Sementes | Algodão | Boa proteção | Dos Santos e Leite, 2023. |
| <i>Cúrcuma longa</i> L. | Vegetal | Pó | Algodão | Boa proteção | Dos Santos e Leite, 2023. |
| <i>Allium cepa</i> | Vegetal | Cascas | Algodão | Excelente proteção | Karabulut e Atav, 2020. |
| <i>Laccifer lacca</i> Kerr | Animal | Lac | Seda | Excelente proteção | Do <i>et al.</i> , 2023a. |
| <i>Tagetes Erecta</i> | Vegetal | Flores | Lã | Excelente proteção | Shabbir <i>et al.</i> , 2018. |
| <i>Tectona grandis</i> | Vegetal | Folhas | Lã | Excelente proteção | Fiori <i>et al.</i> , 2021. |
| <i>Tectona grandis</i> | Vegetal | Folhas | Poliamida | Excelente proteção | Fiori <i>et al.</i> , 2021. |
| <i>Eriobotrya japonica</i> L | Vegetal | Cascas | Lã | Muito boa | Zhang <i>et al.</i> , 2021. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Poliéster | Muito boa | Fang <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Nylon | Muito boa | Fang <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Lã | Excelente proteção | Fang <i>et al.</i> , 2022. |

Fonte: Autoria própria.

4.2. AÇÃO ANTIMICROBIANA

Os micróbios são organismos vivos que são visíveis apenas em escala microscópica. Eles são encontrados em quase todos os lugares do planeta Terra, seja em forma unicelular ou em colônia de células. Os tipos de micróbios mais comumente encontrados são os fungos, as bactérias e os vírus, sendo os dois primeiros os maiores responsáveis por ataques aos materiais têxteis (Naebe *et al.*, 2022).

A presença de microrganismos em materiais têxteis destaca a importância de desenvolver roupas com propriedades antimicrobianas. Os materiais têxteis e roupas são propensos a sofrerem ataques de microrganismos, pois apresentam uma vasta área de superfície, sendo capazes de reter a umidade, o que torna favorável ao desenvolvimento desses microrganismos. As fibras naturais portam elementos como proteínas e celulose, os quais fornecem requisitos como umidade, oxigênio, nutrientes e temperatura para o

crescimento e proliferação das bactérias. Consequentemente, devido à presença desses microrganismos surgem os odores desagradáveis, deterioração do produto, reações alérgicas, entre outros, necessitando assim o desenvolvimento de roupas que sejam capazes de fornecer efeito antimicrobiano (Singh et al., 2005).

Diversos agentes de origem natural podem ser extraídos e utilizados para desenvolver tecidos antimicrobianos. A aplicação de extrato de plantas, óleos essenciais e produtos de origem animal vem sendo utilizados em tecidos para o tratamento de feridas. Além disso, tem-se explorado também a capacidade dos corantes naturais, pigmentos e mordentes de conferir atividade antimicrobiana (Gulati et al., 2022).

Os componentes presentes nos corantes naturais, como por exemplo, antraquinona, flavonoides, antocianinas, polifenólicos não são responsáveis apenas por conferir cor ao material têxtil, mas também conseguem proporcionar propriedades como proteção UV, antimicrobiana, antioxidante, entre outras (Borah et al., 2023).

Um estudo feito por Iqbal et al. (2023), evidencia um corante sendo preparado a partir da extração de um pó fino das cascas de jacarandá indiano (*Dalbergia Sissoo*), extraído em solução aquosa por 1 hora a 90 °C pelo método de fervura. Utilizou-se Aloe vera e frutos secos de Amla (*Emblica Officinalis*) como biomordente no processo de tingimento, o qual foi feito através de pré-mordentagem, pós-mordentagem e mordentagem simultânea. O tingimento com mordentes foi empregado em tecidos de lã e apresentou eficiência antimicrobiana contra as bactérias *Staphylococcus aureus*. A explicação para isso é porque a Aloe Vera apresenta antraquinonas, que são substâncias bioativas do pirocatecol. Já a (*Emblica Officinalis*) possui atividade antimicrobiana devido a presença de taninos, flavononas e substâncias bioativas. Assim, mesmo após as lavagens os tecidos se mostraram eficientes, onde o pirocatecol e os taninos destruíram a membrana celular da bactéria *Staphylococcus aureus*.

Os polifenóis das folhas de chá verde, mais precisamente, o chá-da-índia (*Camellia sinensis*) foram extraídos e utilizados como corante. O tingimento foi aplicado em tecidos de seda que passaram pelo processo de pré-mordentagem, onde se utilizou os mordentes alúmen e cloreto de zinco. Se observou que há uma variação na extração dos polifenóis dependendo do tipo de solvente que se aplica para fazer a extração. Os solventes empregados foram as catequinas, que são compostos incolores e hidrossolúveis que são pertencentes aos grupos de polifenóis encontrados nas folhas de *Camelia sinensis* que são utilizadas para a produção de chás verde e preto, o sistema metanol/água, o metanol/água/HCl, somente água

e água/HCl. O sistema metanol/água foi o que apresentou maior atividade de total de polifenóis, flavonoides e antioxidantes, que estão interligados com a intensidade de cor. Desse modo, o estudo mostrou a capacidade de ação antimicrobiana contra bactérias *Staphylococcus epidermidis* quando estas entram em contato com o tecido tingido (Matsubara e Rodriguez-Amaya, 2006; Borah et al., 2023).

De acordo com Sheikh et al. (2019), corante natural foi extraído das cascas de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril.) e aplicado em tecidos de lã. O extrato foi preparado com as cascas secas de abacaxi e água destilada. Analisou-se os tecidos pré-mordentados com sulfato ferroso e posteriormente tingidos, bem como os tecidos apenas tingidos. A intensidade de cor e as coordenadas CIELab apresentaram valores inferiores para as amostras não mordentadas quando comparado com as mordentadas, pois o tecido de lã que recebeu a mordentagem possui íons ferrosos, os quais facilitam a absorção do corante. Entretanto, tanto as amostras de lã não mordentadas quanto as que passaram pelo processo de mordentagem apresentaram resultados promissores de ação antimicrobiana. Além disso, os testes de solidez apresentaram bons resultados, ficando em uma faixa aceitável. O tingimento com cascas de abacaxi se mostrou eficiente contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, e isso é devido a existência de flavonoides e taninos ativos que atuam nas células bacterianas, rompem a membrana citoplasmática e inibem a atividade enzimática. Tanto as amostras pré-mordentadas e tingidas quanto as que somente foram tingidas apresentaram ação antimicrobiana contra as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

Conforme Do et al. (2023b), um corante natural foi preparado utilizando as raízes trituradas de (*Rubia cordifolia* L.) em água destilada e por processo ultrassônico. A aplicação do corante foi feita em tecidos de seda utilizando quitosana como biomordente. As amostras apresentaram capacidade de inibir ação antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, sendo os valores de 96,71% e 99,08%, respectivamente. No caso das amostras mordentadas com quitosana, a sua ação contra as bactérias *Escherichia coli* se deve ao fato de os grupos amino da quitosana se ligarem as bactérias e inibirem o seu crescimento. Já para as bactérias *Staphylococcus aureus*, é provável que a quitosana tenha se ligado à superfície celular formando uma película impedindo a adsorção de nutrientes na membrana celular das bactérias, resultando assim na morte celular. Além disso, Do et al. (2023a) em outro estudo, investigou o tingimento em tecidos de seda com o corante natural extraído do inseto cochonilha, o tecido de seda tingido com o corante cochonilha apresentou atividade

contra as bactérias *E. coli* (69,11%) e *S. aureus* (40,8%), entretanto, essa ação antimicrobiana foi maior para o tecido de seda mordentado com quitosana.

Shahid et al. (2019), realizaram o tingimento em fios de lã semi-penteada utilizando corante natural extraído das cascas de romã (*Punica granatum L.*), avaliando posteriormente a atividade antimicrobiana. O teste microbiológico foi feito para as bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e para o fungo *Candida albicans*, em amostras tingidas e amostras pré-mordentadas com alúmen de potássio, sulfato ferroso e cloreto estânico e depois tingidas. O autor traz que a concentração do corante influencia na atividade antimicrobiana, pois concentrações mais altas acabam inibindo mais o crescimento de bactérias. Desse modo, apresentou os seguintes resultados para uma concentração de 6%: redução microbiana foi de 79,3–88,3% para *Candida albicans*, 74,8–83,8% para *Staphylococcus aureus* e 75,4–82,4% para *Escherichia coli*. A função antimicrobiana desse corante é devido a presença de taninos nas cascas de romã. Além disso, analisou a durabilidade dessa atividade antimicrobiana perante a lavagens, sendo considerada semidurável pois foi testada para um, cinco e dez ciclos de lavagens e após cada ciclo houve uma diminuição mínima para todos os micróbios analisados. As amostras que foram mordentadas apresentaram atividade antimicrobiana um pouco menor quando comparada com as que somente foram tingidas, porém em relação a durabilidade às lavagens, as amostras mordentadas apresentaram valores melhores.

Os testes antimicrobianos feito por Fang et al. (2022) em tecidos de lã, poliéster, poliamida, seda e algodão, revelaram que todos os tecidos tingidos com batata doce (*Ipomoea batatas*) apresentaram desempenho significativo contra as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, mantendo também uma alta taxa de inibição após 30 ciclos de lavagem conforme a norma AATCC 61–2013.

Conforme Zhang et al. (2021), as cascas das sementes de ameixa amarela (*Eriobotrya japonica L.*) são fontes de corante natural para tingimento em tecidos de lã. Em seu experimento comparou o tingimento em tecidos pré-mordentados com biomordentes e mordentes de íons metálicos. Evidenciou que o tecido de lã tingido apresentou coloração marrom clara enquanto as amostras de tecido com o processo de pré-mordentagem se mostraram muito mais escuras. Os biomordentes utilizados foram as folhas de *Cinnamomum Camphora*, sebo chinês, *Folium Artemisiae Argyi*. Seus resultados evidenciaram que esses vegetais são fontes de corantes naturais e capazes de conferir variação de cores ao tecido de lã, além de apresentar propriedades funcionais, tais como proteção UV (Tabela 8) e ação

antimicrobiana (Tabela 10). Todas as amostras apresentaram valores significativos contra as seguintes bactérias: *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, no entanto, os mordentes metálicos se mostraram ligeiramente mais eficientes que os biomordentes para *Escherichia coli*.

De acordo com Costa (2022), as cascas da *Ximenia americana* L, popularmente conhecida como ameixa do mato, extraídas em três tipos de solventes: água deionizada, metanol e etanol, foram aplicadas em malhas de algodão, bambu e poliéster, avaliando-se a capacidade de funcionalização desses tecidos através dos processos de esgotamento e de impregnação. Foi preparado um filme polimérico de quitosana com *Ximenia americana* e de quitosana pura. O autor avaliou que as amostras que passaram pelo processo de esgotamento, quando colocadas em contato com as bactérias *Staphylococcus aureus*, não apresentaram a formação de nenhuma colônia, constatando assim a capacidade antibactericida das amostras. Ele ainda explica que essa funcionalização ocorre devido ao fato da planta *Ximenia americana* L. ser um agente bactericida. O resultado das amostras que passaram pelo processo de impregnação não apresentou formação de halos muito definidos. Ademais, se identificou que as malhas de algodão foram as que apresentaram valores de halos maiores e, em sequência, as malhas de bambu e poliéster. Além disso, para o extrato aquoso, não houve halos para as malhas de poliéster, o que é explicado pelo fato dessa fibra ser quimicamente inerte e com baixa energia de superfície, dificultando assim a fixação. Sequencialmente, a funcionalização apresentou melhores resultados para os solventes de etanol, metanol e água, respectivamente.

A Tabela 2 evidencia as propriedades funcionais antimicrobianas em materiais têxteis utilizando corantes naturais.

Tabela 5: Propriedades antimicrobianas em materiais têxteis utilizando corantes naturais.

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Espectro de atividade | Referências |
|--|---------|--------|-----------|--|-------------------------------|
| <i>Dalbergia Sissoo</i> | Vegetal | Cascas | Lã | <i>Staphylococcus aureus</i> | Iqbal <i>et al.</i> , 2023. |
| <i>Camellia sinensis</i> | Vegetal | Folhas | Seda | <i>Staphylococcus epidermidis</i> | Borah <i>et al.</i> , 2023. |
| <i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill. | Vegetal | Cascas | Lã | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> . | Sheikh <i>et al.</i> , 2019. |
| <i>Rubia cordifolia</i> L. | Vegetal | Raízes | Seda | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> . | Do <i>et al.</i> , 2023b. |
| <i>Punica granatum</i> L. | Vegetal | Cascas | Lã | <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Candida albicans</i> | Shahid <i>et al.</i> , 2019. |
| <i>Laccifer lacca</i> Kerr | Animal | Lac | Seda | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> . | Do <i>et al.</i> , 2023a. |
| <i>Cinnamomum</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Candida albicans</i> | Mohamed <i>et al.</i> , 2023. |

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Espectro de atividade | Referências |
|------------------------------|---------|--------|-------------------------------|--|----------------------------------|
| <i>Mentha piperita</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Candida albicans</i> | Mohamed <i>et al.</i> , 2023. |
| <i>Lavandula</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Candida albicans</i> | Mohamed <i>et al.</i> , 2023. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Poliéster | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> | Fang <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Poliamida | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> | Fang <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Ipomoea batatas</i> | Vegetal | Folhas | Lã | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> | Fang <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Eriobotrya japonica L</i> | Vegetal | Cascas | Lã | <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> | Zhang <i>et al.</i> , 2021. |
| <i>Ximenia americana L</i> | Vegetal | Cascas | Algodão Bambu Poliéster | <i>Staphylococcus aureus</i> | Costa, 2022. |

Fonte: Autoria própria.

4.3. REPELÊNCIA A INSETOS

Desde a antiguidade problemas com pragas em artigos têxteis são notórios. Vestígios de ataques de insetos foram observados em espécimes de tecidos de lã encontrados pelo mundo todo. Diversos produtos indígenas eram utilizados na época para repelir insetos durante a armazenagem de tecidos, um exemplo é a cânfora, sendo seu vapor eficiente para afastar traças, no entanto, o odor desagradável restringia seu uso. No século XX, as bolas de naftaleno ganharam destaque por sua durabilidade na prevenção de combater infestações de insetos, porém, devido a sua inflamabilidade foi preciso buscar novas alternativas. Neste contexto, surge o composto 1,4-diclorobenzeno, que se mostrou mais eficaz contra larvas e traças adultas (Medha *et al.*, 2021).

Na contemporaneidade, diante da crescente preocupação com a propagação epidêmica de doenças, houve um avanço e impulsionamento para desenvolver têxteis funcionais, cuja função é proteger a saúde. A utilização de roupas e tecidos com acabamentos repelentes de insetos representa uma abordagem promissora para proteger o corpo humano de picadas de diferentes insetos portadores de patógenos (Kamari *et al.*, 2022).

A busca por pesquisas interdisciplinares ainda permanece essencial para aprimorar a aplicação de corantes naturais em têxteis, bem como melhorar sua bioatividade, biocompatibilidade e sustentabilidade (Repon *et al.*, 2023).

Estudos realizados apontaram que as propriedades inseticidas das plantas variam de acordo com o tipo de inseto, o que significa que possuem tempo e especificidade diferentes

para matá-los. Entretanto, os extratos das plantas são eficazes na propriedade de repelir, repelindo-os completamente (Meles et al., 2012).

Estudos realizados envolvendo resíduos de flores de açafrao, cascas de cebola, hena, entre outros evidenciaram que as raízes são capazes de fornecer proteção contra traças às fibras de lã, sendo sua eficácia dependente da quantidade de taninos presentes em sua composição química. Neste contexto, os corantes naturais com maiores níveis de taninos demonstram conter propriedades de repelência contra mariposas de maneira mais eficaz (Pargai et al., 2020).

Mohamed et al. (2023), apresentaram um estudo que evidencia a utilização de diferentes óleos vegetais em tecidos de linho para conferir propriedades repelentes de mosquitos. Para tal experimento foi empregado óleo de canela (*Cinnamomum*), de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*), de lavanda (*Lavandula*) e óleo perfumado (combinação de diversas plantas de madeiras, flores etc.). Esses óleos foram encapsulados em microcápsulas de sílica mesoporosa, o qual consistiu em preparar diversas concentrações em 50 mL de etanol, sendo agitada em temperatura ambiente por 3-4 horas. Além disso, juntamente com esses óleos, os polímeros naturais pectina e quitosana foram empregados no tecido, com e sem um reticulante (ácido cítrico), sendo analisada a capacidade de repelir mosquitos como *Aedes aegypti*. Assim, ele evidenciou que o tecido de linho tratado com os óleos encapsulados promove a derrubada e morte imediata de mosquitos, além de que a sua eficiência contra estes é aumentada com o tempo. No entanto, também observou que essa atividade repelente foi diminuindo após 10 ciclos de lavagem. Ademais, como já apresentado anteriormente na Tabela 10, o tecido tratado se mostrou eficiente contra as bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans*, proporcionando assim atividade antimicrobiana, sendo os tecidos tratados com quitosana os que apresentaram melhores resultados.

Estudos feitos por Gogoi et al. (2022) evidenciaram que a aplicação de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon*) tecidos de lã possui acabamento multifuncional. Além disso, o teste de repelência foi realizado no tecido com e sem tratamento com quitosana e mostrou que a combinação do óleo essencial em questão e a quitosana proporcionaram valores significativos de propriedades antitraças, proteção UV e até mesmo aroma duradouro. O tecido que não passou pelo tratamento foi atacado por traças, mais precisamente o *Anthrenus verbasci*, que é um besouro de tapete, perdendo até 13% de seu peso, evidenciando a eficácia do óleo essencial contra as traças. A concentração do óleo de capim-limão também é fator

importante, pois afeta a taxa de mortalidade, assim, quanto maior for a concentração maior será a mortalidade das traças. Ainda, a aplicação de quitosana como agente de reticulação mostrou um aumento na taxa de mortalidade de 36 para 80%.

Segundo Al Parvez et al. (2023), extrato alcoólico de folhas de hortelã-pimenta e dentes de alho detém a capacidade de conferir propriedade funcional ao tecido de algodão. A solução com hortelã-pimenta e alho foi preparada nas concentrações 5, 15, 25 e 35%, sendo aplicada no tecido para tingimento por exaustão. Ele avaliou que as concentrações de 25 e 35% proporcionaram maiores taxas de mortalidade contra o mosquito *Aedes aegypti* com uma eficiência de 50% e 76,67%, respectivamente e, teve o poder de repelência de 78,6% e 85,6%.

De acordo com Endris e Govindan (2022), óleo essencial extraído das folhas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) com etanol tem a capacidade de conferir propriedades funcionais ao tecido de algodão. Em seu experimento, fez-se dois tipos de extração, uma com água e outra com etanol. A extração com água teve a finalidade de obter o corante natural empregado nos tecidos, enquanto a extração etanólica teve o objetivo de extrair óleo essencial. Além disso, foi realizado tingimento e mordentagem simultânea, sendo empregado o mordente alúmen. Desse modo, umas das propriedades funcionais analisadas foi a repelência contra insetos, a qual constatou que os tecidos de algodão que passaram pelo tratamento possuem um percentual de repelência de 92,79% contra insetos. Além disso, os autores evidenciaram que a concentração é um fator importante na taxa de repulsão, isto é, quanto maior for a concentração maior será a taxa de repelência. Ademais, eles analisaram que ao empregar ácido cítrico como agente de reticulação, houve uma melhora na durabilidade do acabamento e isso ocorre devido a essa adição melhorar a conexão entre os compostos químicos repelentes e as fibras.

Neste contexto, na Tabela 3 são apresentados os resultados de estudos anteriores sobre produtos/corantes naturais aplicados e que conferiram propriedades de repelência aos tecidos.

Tabela 6: Propriedade de repelência em materiais têxteis utilizando corantes naturais.

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Repelência | Referências |
|------------------------|---------|--------|-----------|----------------------|-----------------------|
| <i>Cinnamomum</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Aedes aegypti</i> | Mohamed et al., 2023. |
| <i>Mentha piperita</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Aedes aegypti</i> | Mohamed et al., 2023. |
| <i>Lavandula</i> | Vegetal | Óleo | Linho | <i>Aedes aegypti</i> | Mohamed et al., 2023. |

| Fonte do corante | Origem | Partes | Substrato | Repelência | Referências |
|----------------------------|---------|--------|-----------|---------------------------|---------------------------------|
| <i>Cymbopogon</i> | Vegetal | Óleo | Lã | <i>Anthrenus verbasci</i> | Gogoi <i>et al.</i> , 2022. |
| <i>Mentha piperita</i> | Vegetal | Folhas | Algodão | <i>Aedes aegypti</i> | Al Parvez <i>et al.</i> , 2023. |
| <i>Eucalyptus Globulus</i> | Vegetal | Folhas | Algodão | <i>Indefinido</i> | Endris e Govindan, 2022. |

Fonte: Autoria própria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a crescente conscientização por hábitos mais sustentáveis nos últimos anos, a indústria têxtil, que notoriamente possui o papel de uma das mais poluentes do mundo, necessita encontrar alternativas mais ecológicas para diminuir seu impacto ambiental. Nesta pesquisa, a qual consistiu em uma revisão bibliográfica abrangente sobre os corantes naturais e sua capacidade de funcionalização, tendo como objetivo demonstrar seu potencial dentro da indústria têxtil, os resultados mostram que os corantes naturais apresentam um potencial considerável, sendo capazes de conferir uma variedade de cores e propriedades funcionais que são desejadas no mercado, podendo ser uma alternativa sustentável diante dos corantes sintéticos, os quais causam muitos problemas ambientais.

Por outro lado, é evidente que ainda há muitos desafios a serem enfrentados quando se trata de corantes naturais, pois apesar de conferirem propriedades funcionais, alguns fatores como estabilidade, durabilidade e quantidade de matéria-prima suficiente para um processo em larga escala são questões a serem analisadas. Entretanto, esses desafios devem ser vistos como uma oportunidade de inovação, podendo ainda serem temas de trabalhos futuros que possam vir a contribuir para a indústria têxtil.

REFERÊNCIAS

- AL PARVEZ, Abdullah et al. Mosquito repellent fabric: Development and characterization of peppermint and garlic mixture finish on knitted fabric to examine mosquito repellency. *Heliyon*, v. 9, n. 5, 2023.
- AZEVEDO, Fernanda Gomes. **Estudo da funcionalização de tecidos de fibra celulósica através de tratamento corona e impregnação de pontos quânticos de óxido de zinco**. Porto Alegre, 2016.
- BALAN, Doralice de Souza Luro. Corantes naturais de aplicação têxtil: avaliação preliminar da toxicidade de urucum *Bixa orellana* L.(Malvales: Bixaceae) e hibisco *Hibiscus sabdariffa* L.(Malvales: Malvaceae). *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 4, n. 7, p. 151-157, 2017.

- BORAH, Shristirupa et al. Sustainable dyeing of mulberry silk fabric using extracts of green tea (*Camellia sinensis*): Extraction, mordanting, dyed silk fabric properties and silk-dye interaction mechanism. **Industrial Crops and Products**, v. 205, p. 117517, 2023.
- CHE, Jiangning; YANG, Xu. A recent (2009–2021) perspective on sustainable color and textile coloration using natural plant resources. **Heliyon**, v.8, ed. 10, 2022.
- CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Eco-friendly dyes and dyeing. **Advanced Materials and Technologies for Environmental**, v. 2, p. 145-76, 2018.
- COPINI, Mayara Schafer. **Comportamento tintorial dos ésteres de luteína extraídos de *Tagetes erecta* L. no tingimento de substrato de algodão**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2018.
- COSTA, João Batista Sousa. **Funcionalização de tecidos de malhas e filmes de quitosana com *Ximenia Americana* L. para o uso antimicrobiano**. Orientador: Salete Martins Alves. 2022. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- DE ARAÚJO, Maria Eduarda Machado. Corantes naturais para têxteis—da antiguidade aos tempos modernos. **Conservar patrimônio**, n. 3-4, p. 39-51, 2006.
- DE OLIVEIRA, Cláudia Suellen Ferro; TAVARIA, Freni Kekhasharú.. The impact of bioactive textiles on human skin microbiota. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 188, p. 66-77, 2023.
- DO, Khai Ly et al. Dyeing of Silk with Natural Lac Dye from *Laccifer lacca* Kerr. and Evaluation of Antibacterial and UV-Protective Properties. **Fibers and Polymers**, v. 24, n. 8, p. 2773-2783, 2023.
- DO, Khai Ly et al. Functionalization of silk with chitosan and *Rubia cordifolia* L. dye extract for enhanced antimicrobial and ultraviolet protective properties. **Textile Research Journal**, p. 00405175231167603, 2023.
- DOS SANTOS, Arielma Marques.; LEITE, Itamara Farias.. Use of *Bixa orellana* and *Curcuma longa* L. as a Natural Protection Factor for Cotton Fabrics. **Fibers and Polymers**, v. 24, n. 9, p. 3195-3209, 2023.
- DUARTE, Ana Raquel da Silva. **Design têxtil e moda: tingimento através de micro-organismos**. Lisboa: FA, 2021. Dissertação de Mestrado.
- DULO, Benson et al. Evaluating the potential of natural dyes from nutshell wastes: Sustainable colouration and functional finishing of wool fabric. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 34, p. e00518, 2022.
- ENDRIS, Jemal; GOVINDAN, Nalankilli. Single-stage coloration and multiple finishing of cotton with eucalyptus leaves extracts. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 3, p. 969-983, 2022.

- FANG, Jin; MENG, Chen; ZHANG, Guangzhi. Agricultural waste of Ipomoea batatas leaves as a source of natural dye for green coloration and bio-functional finishing for textile fabrics. **Industrial Crops and Products**, v. 177, p. 114440, 2022.
- FARIA, Lênio José Guerreiro de; COSTA, Cristiane Maria Leal (coord.). Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais. Belém: UFPA: POEMA: NUMA, 1998. 302 p. (Série Poema, n. 7).
- FIORI, Bruna de Aguiar et al. Proteção UV de tecidos de poliamida e de lã tingidos com folhas de teca UV protection of polyamide and wool fabrics dyed with teak leaves. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 58416-58429, 2021.
- GOGOI, Munmee et al. Multifunctional finishing of woolens with lemongrass oil. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 4, p. 1353-1365, 2022.
- GOMES, Carlos Daniel da Costa. **Otimização de um processo de tingimento com corantes naturais**. 2022. Tese de Doutorado – Universidade do Minho, 2022.
- GONG, Kang et al. Natural pigment during flora leaf senescence and its application in dyeing and UV protection finish of silk and wool--a case study of Cinnamomum Camphora. **Dyes and Pigments**, v. 166, p. 114-121, 2019.
- GRIFONI, Daniele et al. The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. **Dyes and Pigments**, v. 91, n. 3, p. 279-285, 2011.
- GRIFONI, Daniele et al. UV protective properties of cotton and flax fabrics dyed with multifunctional plant extracts. **Dyes and Pigments**, v. 105, p. 89-96, 2014.
- GULATI, Rehan; SHARMA, Saurav; SHARMA, Rakesh Kumar. Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective. **Polymer Bulletin**, v. 79, n. 8, p. 5747-5771, 2022.
- GUPTA, Virendra Kumar. Fundamentals of natural dyes and its application on textile substrates. **Chemistry and technology of natural and synthetic dyes and pigments**, v. 2019, 2019.
- HAJI, Aminoddin; BAHTIYARI, M. İbrahim. Natural compounds in sustainable dyeing and functional finishing of textiles. In: **Green chemistry for sustainable textiles**. Woodhead Publishing, p. 191-203, 2021.
- IQBAL, Kashif et al. Dyeing of wool fabric with natural dye extracted from Dalbergia Sissoo using natural mordants. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 33, p. 101094, 2023.
- KAMAL ALEBEID, Omer; ZHAO, Tao. Anti-ultraviolet treatment by functionalizing cationized cotton with TiO₂ nano-sol and reactive dye. **Textile Research Journal**, v. 85, n. 5, p. 449-457, 2015.

- KAMARI, Azlan et al. A mini review of materials used as improvers for insect and arthropod pest repellent textiles. **Current Applied Science and Technology**, 18 pages, 2022.
- KARABULUT, Kaya; ATAV, Rıza. Dyeing of cotton fabric with natural dyes without mordant usage part I: determining the most suitable dye plants for dyeing and UV protective functionalization. **Fibers and Polymers**, v. 21, p. 1773-1782, 2020.
- LEITE, Romildo de Paula. O retorno dos corantes naturais. **Textile Industry**. 29 nov. 2019.
- Marina. Tingimento Natural: um tutorial básico. **Atelier Terra Rosa**: Marina, 3 maio 2021. Disponível em: < <https://www.atelierterrarosa.com.br/post/tingimento-natural-um-tutorial-b%C3%A1sico>>. Acesso em: 13 out. 2023.
- MATSUBARA, Simara; RODRIGUEZ-AMAYA, Delia B. Teores de catequinas e teaflavinas em chás comercializados no Brasil. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 401-407, 2006.
- MEDHA, Kumari et al. A comprehensive review on moth repellent finishing of woolen textiles. **Journal of Cultural Heritage**, v. 49, p. 260-271, 2021.
- MELES, Teklay et al. Insecticidal and repellent properties of selected medicinal plants collected from Sofoho, Axum, North East Africa. **Ijit**, v. 1, n. 03, p. 1-8, 2012.
- MIA, Rony et al. Natural dye extracted from *Triadica sebifera* in aqueous medium for sustainable dyeing and functionalizing of viscose fabric. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 8, p. 100471, 2022.
- MOHAMED, Amina L. et al. Imparting the mosquito-repellent and fragrance properties to linen fabric using different natural plants oils without or via silica encapsulation technique. **Results in Chemistry**, v. 5, p. 100742, 2023.
- NAEBE, Maryam; HAQUE, Abu Naser Md Ahsanul; HAJI, Aminoddin. Plasma-assisted antimicrobial finishing of textiles: A review. **Engineering**, v. 12, p. 145-163, 2022.
- NARIMATSU, Bárbara Mayume Galeti et al. Corantes naturais para fins têxteis: um relato de experiência. **Projetica**, v. 13, n. 1, p. 240-265, 2022.
- NIINIMÄKI, Kirsi et al. The environmental price of fast fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 189-200, 2020.
- NOGUEIRA, Cláudia do Rosário Matos; NORONHA, Raquel Gomes; SANTOS, Denilson Moreira. **The natural dyes extracted in São João de Côrtes, Alcântara, Maranhão: an approach oriented to sustainable design**, v. 3, n.4, p. 93-107, 2017.
- OLIVEIRA, Warley Fernandes et al. Tingimento natural de algodão cationizado com extrato dos frutos de jenipapo (*Genipa americana* L.) Natural dyeing of cotton with jenipapo fruit extract (*Genipa americana* L.). **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16946-16958, 2022.

- OTAVIANO, Bryna Tieme Haraki. **Estudo das propriedades de tingimento, ação antibacteriana e fotoprotetora do extrato das cascas de romã (*Punica granatum* L.) aplicado em tecido de algodão**. 2021. 166f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.
- PARGAI, Deepti; JAHAN, Shahnaz; GAHLOT, Manisha. Functional properties of natural dyed textiles. **Chemistry and technology of natural and synthetic dyes and pigments**, p. 1-19, 2020.
- PAUL, Roshan. Functional finishes for textiles: An overview. **Functional Finishes for Textiles, Improving Comfort, Performance and Protection**, p. 1-14, 2015.
- PERIYASAMY, Aravin Prince. Natural dyeing of cellulose fibers using syzygium cumini fruit extracts and a bio-mordant: A step toward sustainable dyeing. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 33, p. e00472, 2022.
- REPON, Md Reazuddin et al. Cleaner pathway for developing bioactive textile materials using natural dyes: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 17, p. 48793-48823, 2023.
- SAMANTA, A. Kumar. Bio-dyes, bio-mordants and bio-finishes: Scientific analysis for their application on Textiles. **Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments**, p. 3-42, 2020.
- SHABBIR, Mohd; RATHER, Luqman Jameel; MOHAMMAD, Faqeer. Economically viable UV-protective and antioxidant finishing of wool fabric dyed with *Tagetes erecta* flower extract: Valorization of marigold. **Industrial Crops and Products**, v. 119, p. 277-282, 2018.
- SHAHID, Mohammad et al. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of cleaner production**, v. 53, p. 310-331, 2013.
- SHAHID, Mohammad et al. Simultaneous shade development, antibacterial, and antifungal functionalization of wool using *Punica granatum* L. Peel extract as a source of textile dye. **Journal of Natural Fibers**, v. 16, n. 4, p. 555-566, 2019.
- SHEIKH, Javed et al. Functionalization of wool fabric using pineapple peel extract (PPE) as a natural dye. **AATCC Journal of Research**, v. 6, n. 5, p. 16-20, 2019.
- SILVA, Márcia Gomes. **Corantes naturais no tingimento e acabamento antimicrobiano e anti-UV de fibras têxteis**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade do Minho (Portugal).
- SINGH, Rajni et al. Antimicrobial activity of some natural dyes. **Dyes and pigments**, v. 66, n. 2, p. 99-102, 2005.

UNEP – United Nations Environment Programme. Cleaning up couture: what’s in your jeans?. 14 dez. 2018. Disponível em: < <https://www.unep.org/news-and-stories/story/cleaning-couture-whats-your-jeans>>. Acesso em: 07 out. 2023.

VIANA, Teresa Campos. **Corantes naturais na indústria têxtil, como combinar experiências do passado com as demandas do futuro**. Dissertação de mestrado – Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Design, 2012.

YADAV, Shailendra et al. A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives. **Results in Chemistry**, p. 100733, 2022.

ZHANG, Yanyun et al. Agricultural waste of Eriobotrya japonica L.(Loquat) seeds and flora leaves as source of natural dye and bio-mordant for coloration and bio-functional finishing of wool textile. **Industrial Crops and Products**, v. 169, p. 113633, 2021.

CAPÍTULO XI

EMBALAGENS ALIMENTARES ATIVAS E SUSTENTÁVEIS A BASE DE PECTINA

ACTIVE AND SUSTAINABLE FOOD PACKAGING BASED ON PECTIN

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-11

Guilherme Augusto Moraes de Jesus¹

André Luiz Tessaro²

Rafael Block Samulewski³

Marcelo Ferreira da Silva⁴

Johny Paulo Monteiro³

Alessandro Francisco Martis^{3,6}

Elton Guntendorfer Bonafé^{2,5}

¹ Doutorando em Química. Programa de Pós-Graduação em Química – Universidade Estadual de Maringá (UEM)

² Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR-AP

³ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR-AP

⁴ Professor Adjunto do departamento de física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR-AP

⁵ Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação Química (PQU) – Universidade Estadual de Maringá (UEM)

⁶ Departamento de Química, Universidade Estadual de Pittsburg (PSU), Pittsburg, KS, USA.

RESUMO

A utilização de embalagens alimentares derivadas de fontes não renováveis, como plásticos de petróleo, contribui significativamente para a poluição ambiental. Com cerca de 95% das embalagens plásticas sendo baseadas em petróleo, alternativas sustentáveis são necessárias. Polissacarídeos como pectina (PEC), quitosana, amido, celulose, carragena, entre outros, estão sendo explorados para desenvolver embalagens biodegradáveis e comestíveis. A PEC se destaca por ser biocompatível, barata e eficiente na formação de filmes, embora necessite de plastificantes para melhorar suas propriedades mecânicas. Glicerol é o plastificante mais comum, devido à sua biodegradabilidade, segurança e baixo custo. No entanto, essas embalagens muitas vezes não possuem propriedades antioxidantes essenciais para prolongar a vida útil dos produtos embalados. Assim, embalagens ativas, que interagem com o produto ou ambiente para melhorar a conservação, estão ganhando destaque. Antioxidantes, como as nanopartículas de selênio (SeNPs), têm mostrado potencial para inibir a oxidação e aumentar a durabilidade dos alimentos embalados. O selênio, um oligoelemento essencial, é eficaz em sua forma

nanoparticulada, exibindo maior atividade biológica e menor toxicidade. A PEC pode estabilizar e reduzir SeNPs, criando embalagens com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Embora pesquisas já tenham explorado diversos materiais compostos com SeNPs, a aplicação específica de PEC carregada com SeNPs em embalagens alimentares ainda é uma área promissora e pouco explorada, oferecendo uma solução potencial para reduzir o impacto ambiental e melhorar a conservação dos alimentos.

Palavras-chave: Embalagens ativas. Sustentabilidade. Polissacarídeos. Conservação de alimentos.

ABSTRACT

Food packaging derived from non-renewable sources, such as petroleum plastics, contributes significantly to environmental pollution. With around 95% of plastic packaging being petroleum-based, sustainable alternatives are needed. Polysaccharides such as pectin (PEC), chitosan, starch, cellulose, and carrageenan, among others, are being explored to develop biodegradable and edible packaging. PEC stands out for being

biocompatível, barato, e eficiente na formação de filmes, embora os plastificantes sejam necessários para melhorar suas propriedades mecânicas. O glicerol é o plastificante mais comum devido à sua biodegradabilidade, segurança e baixo custo. No entanto, este tipo de embalagem frequentemente carece de propriedades antioxidantes para prolongar a vida útil dos produtos embalados. Assim, a embalagem ativa, que interage com o produto ou o ambiente para melhorar a conservação, está ganhando destaque. Antioxidantes, como nanopartículas de selênio (SeNPs), demonstraram o potencial de inibir a oxidação e aumentar a vida útil dos alimentos embalados. O selênio, um elemento traço essencial, é adequado em sua

forma de nanopartícula, apresentando excelente atividade biológica e menor toxicidade. A PEC pode estabilizar e reduzir as SeNPs, criando embalagens com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Embora pesquisas já tenham explorado vários materiais compostos de SeNPs, a aplicação específica da PEC carregada com SeNPs na embalagem de alimentos ainda é uma área promissora e pouco explorada, oferecendo uma solução potencial para reduzir o impacto ambiental e melhorar a conservação dos alimentos.

Keywords: Active packaging. Sustainability. Polysaccharides. Food preservation.

1. INTRODUÇÃO

As embalagens de alimentos à base de fontes não renováveis contribuem para o aumento da poluição ambiental. Elas geralmente são compostas por materiais plásticos derivados do petróleo (Marangoni Júnior *et al.*, 2022). De acordo com Lin *et al.*, (2023), aproximadamente 95% do plástico utilizado nas embalagens alimentares são produzidas a partir de polímeros derivados de petróleo. Com isso, macromoléculas extraídas de fontes naturais, como os polissacarídeos, têm sido uma alternativa inteligente aos produtos não renováveis. Atualmente, diferentes polissacarídeos como pectina (PEC) (Asfaw; Dekeba, 2022), quitosana (Lin *et al.*, 2023), amido (Lin *et al.*, 2022), celulose (Teixeira *et al.*, 2021), carragena (de Jesus *et al.*, 2023), têm sido amplamente utilizados como precursores para o desenvolvimento de embalagens comestíveis biodegradáveis. (Marangoni Júnior *et al.*, 2022).

A PEC tem se destacado, pois é biocompatível, segura na área de alimentos, barata, de fácil obtenção e com excelente capacidade para formação de filmes (Zambuzi *et al.*, 2021). A PEC é um polissacarídeo encontrado na parede celular de frutas cítricas e vegetais, composto pelo ácido *D-galacturônico* ligado por ligações glicosídicas do tipo α -(1-4) com grau variável de grupos carboxilas esterificadas com metilas ou outros sacarídeos (galactose, arabinose e ramnose) (Marangoni Júnior *et al.*, 2022; Roy; Rhim, 2021).

Contudo, o uso de apenas um único polissacarídeo na mistura resulta em filmes quebradiços, com propriedades mecânicas deficientes. A adição de plastificantes em filmes biodegradáveis tem sido uma alternativa para produzir materiais mais resistentes. Os plastificantes, geralmente são moléculas de baixa massa molar, com vários grupos hidroxilas os quais atuam na redução das forças intermoleculares entre as cadeias dos polissacarídeos,

tornando o material mais maleável, reduzindo a fragilidade e evitando o encolhimento ao longo do manuseio e armazenamento (Chaichi *et al.*, 2019).

Vários plastificantes têm sido utilizados na produção de filmes como glicerol (Chaichi *et al.*, 2019), sorbitol (Chan *et al.*, 2019), trietil citrato (Teixeira *et al.*, 2021), entre outros. Dentre os citados, o glicerol é o plastificante mais utilizado na produção de filmes comestíveis, pois é seguro para consumo, de baixo custo, biodegradável, não tóxico e estável em condições ambiente (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023).

No entanto, embalagens biodegradáveis compostas apenas por polissacarídeos e agentes de reforço geralmente não exibem ação antioxidante, a qual pode auxiliar na conservação dos produtos embalados. Neste sentido, o desenvolvimento das chamadas embalagens ativas têm ganhado destaque (Jovanović *et al.*, 2021; Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020). Embalagens ativas são aquelas que envolvem a incorporação de substâncias ativas ou componentes nos materiais ou sistemas de embalagem para melhorar o desempenho, a vida útil ou a segurança dos produtos embalados (Marangoni Júnior *et al.*, 2022).

Essas substâncias ativas ou componentes podem interagir com o produto embalado ou com o ambiente circundante para prolongar a vida útil, melhorar o frescor, aumentar a segurança ou fornecer outras funcionalidades desejadas. Sem a necessidade de incluir aditivos diretamente na composição dos alimentos, contribuindo para evitar sua degradação precoce (Soltani Firouz; Mohi-Alden; Omid, 2021).

Os principais sistemas de embalagem ativa são removedores de oxigênio, absorvedores de etileno, absorvedores/emissores de dióxido de carbono, sistemas de liberação/absorção de sabor, antioxidantes e antimicrobianos (Marangoni Júnior *et al.*, 2022). Dentre os componentes citados, os antioxidantes são compostos capazes de retardar ou inibir a ação oxidante de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. Esses compostos podem interagir com o produto embalado, prolongando sua oxidação, conferindo maior tempo de prateleira (Song *et al.*, 2022).

O selênio (Se) é um mineral, oligoelemento essencial para os organismos vivos e compõe várias proteínas e enzimas que participam da regulação dos sistemas antioxidantes do corpo. A sua forma metálica nanoparticulada (SeNPs) potencializa sua atividade biológica e reduz a toxicidade em comparação com os selenocompostos orgânicos e Se oxianions, como selenito (SeO_3^{2-}) e selenato (SeO_4^{2-}) (Chen *et al.*, 2022). As SeNPs aumentam a atividade

antioxidante dos materiais, inibem o crescimento de bactérias patogênicas de origem alimentar, e prolongam a vida útil dos alimentos embalados (Song *et al.*, 2020).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diante do alto índice de desperdício de alimentos, as embalagens têm como função, além do marketing, separar e proteger os produtos embalados do contato com o ambiente. Atuam na preservação dos compostos sensíveis à luz/oxigênio, evitando a degradação do produto embalado e aumentando sua vida de prateleira (Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020).

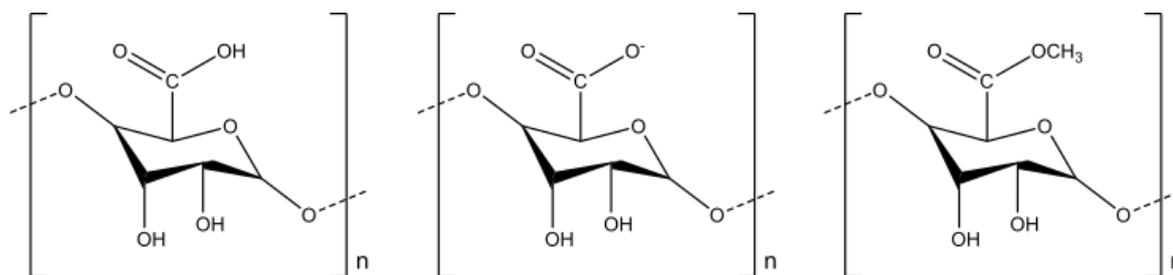
No entanto, as embalagens tradicionais normalmente são compostas por precursores a base de petróleo. Isso ocorre devido a sua processabilidade, baixo custo e por apresentar propriedades mecânicas favoráveis, além da facilidade de modelagem em diversos formatos (Leyva-Jiménez *et al.*, 2023; Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020). Por outro lado, a utilização excessiva aliada ao descarte incorreto desses materiais tem causado graves problemas ambientais, visto sua baixa biodegradabilidade (Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020; Priyadarshi; Rhim, 2020). Estudos anteriores mostram que menos de 3% de todo plástico produzido no mundo é reciclado, o que tem despertado interesse em novos estudos visando substituir embalagens plásticas à base de fontes não renováveis por materiais sustentáveis (Leyva-Jiménez *et al.*, 2023; Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020; Priyadarshi; Rhim, 2020).

Neste sentido, os polissacarídeos têm sido uma alternativa atraente para a obtenção de materiais ecologicamente corretos. Podem ser utilizados para produzir filmes com diferentes propriedades, como flexibilidade, resistência e transparência. Eles são abundantes na natureza, apresentam baixo custo de obtenção, amigáveis ao meio ambiente, normalmente biocompatíveis e são materiais sustentáveis. Os filmes produzidos a partir de polissacarídeos apresentam uma boa capacidade de barreira, o que significa que podem proteger o alimento ou produto embalado da luz, oxigênio e umidade (Zhu, 2021). Vários estudos relatam a produção de embalagens biodegradáveis à base de κ -carragena (de Jesus *et al.*, 2023), amido (Garcia *et al.*, 2014), quitosana (Lin *et al.*, 2023), celulose (Teixeira *et al.*, 2021), alginato (Cao *et al.*, 2020), e pectina (Nastasi *et al.*, 2022).

2.1. PECTINA

As PEC são uma família de polissacarídeos estruturalmente complexos, amplamente encontrados nas paredes celulares das plantas e na camada de lamela média. (Zhang *et al.*, 2020). A PEC é um polissacarídeo formado principalmente por unidades repetitivas do ácido *D*-galacturônico que está ligado por ligações α -1,4-glicosídicas (Figura 1). É amplamente utilizada em produtos alimentares como estabilizante, emulsificante, espessante e gelificante em produtos lácteos, geleias, leite e sorvetes, pois é biocompatível e não tóxica para o consumo, além de ser, biodegradável e excelente formadora de filmes. Ela é composta por um grupo de polissacarídeos normalmente encontrado em cascas de frutas cítricas (Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020).

Figura 3: Representação estrutural das unidades repetitivas presentes na cadeia de pectina, com diferentes unidades de ácido *D*-galacturônico.



Fonte: A autoria própria através do software ChemDraw Pro 12.0.

A PEC apresenta estrutura complexa, podendo ser dividida em não ramificada, formada por um esqueleto aniônico sem cadeias laterais e outra ramificada, com cadeias laterais não iônicas. Os grupos funcionais hidroxila, carboxila e metila são os principais grupos funcionais deste polissacarídeo. Podem existir em diferentes formas iônicas/não iônicas ($-\text{COO}^-$, $-\text{COOH}$ e $-\text{COOH}_2^+$) dependendo do pH (Li *et al.*, 2021). Além disso, o grau de esterificação metílica da PEC depende do pH de extração. (Byun *et al.*, 2020). Elas podem ser classificadas como PEC de alta metoxilação (HMP, grau de esterificação > 50%) e PEC de baixa metoxilação (LMP, grau de esterificação inferior a 50%) (Karim *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2022).

A HMP é utilizada principalmente como gelificante em produtos como geleias e marmeladas, enquanto a LMP é utilizada como estabilizante em produtos lácteos e como espessante em produtos com baixo teor de açúcar. A HMP apresenta maior tendência de formar géis, pois possui uma alta proporção de grupos metil-éster ligados aos resíduos de ácido galacturônico, o que torna a molécula mais hidrofóbica e menos solúvel em água. A

formação de ligações de hidrogênio entre os grupos carboxilatos na HMP e os íons de hidrogênio do ácido, resultam na formação de um gel (Karim *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2022).

Trabalhos que já utilizam a PEC na produção de filmes sempre mostram a utilização de algum plastificante (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023; Chaichi *et al.*, 2019; Marangoni Júnior *et al.*, 2022; Roy; Rhim, 2021; Xie *et al.*, 2023). Assim, filmes estáveis e resistentes para serem aplicados como embalagens baseados em PEC normalmente precisam de aditivos com ação plastificante e/ou reticulante (Chaichi *et al.*, 2019).

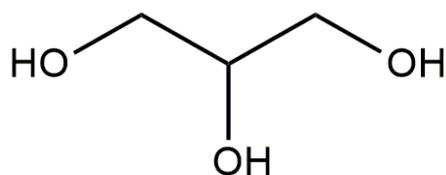
2.2. PLASTIFICANTE

Apesar da PEC apresentar propriedades que facilitam a formação de filmes, seu uso exclusivo na mistura filmogênica resulta em materiais com limitações mecânicas e de barreira ao vapor de água. Filmes desenvolvidos pela metodologia de *casting* se tornam quebradiços, pouco maleáveis, após a etapa de secagem devido às interações intermoleculares entre as cadeias dos polissacarídeos. Neste sentido, aditivos com ação plastificante e/ou reticulante podem melhorar deficiências do novo material produzido (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023; Chan *et al.*, 2019).

As propriedades mecânicas dos filmes são influenciadas diretamente pela composição da matriz básica, solvente empregado e plastificante utilizado. Os plastificantes são em sua maioria, moléculas pequenas, de baixa massa molar, baixa volatilidade, de natureza química similar à do polímero usado na mistura e geralmente líquidos. Essas moléculas aumentam a mobilidade entre as cadeias poliméricas criando pequenos espaços vazios entre elas, os quais proporcionam materiais mais macios e flexíveis, menos quebradiços, de melhor processabilidade e com maior capacidade a elongação até a ruptura e de módulo de elasticidade. (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023; Chan *et al.*, 2019; Teixeira *et al.*, 2021)

Atualmente vários materiais plastificantes têm sido utilizados como aditivos em filmes biodegradáveis à base de polissacarídeos, como glicerol (Chaichi *et al.*, 2019), sorbitol (Chan *et al.*, 2019), trietil citrato (Teixeira *et al.*, 2021), entre outros. Dentre os citados, o glicerol (Figura 2) é amplamente empregado em indústrias cosméticas, farmacêuticas e alimentícias, por ser considerado seguro em bioaplicações. (Attarbachi; Kingsley; Spallina, 2023).

Figura 4: Estrutura molecular do glicerol.



Fonte: Autoria própria através do software ChemDraw Pro 12.0.

O glicerol é o plastificante mais utilizado na produção de filmes comestíveis, pois é de baixo custo, biodegradável, não tóxico e estável em condições ambiente, tornando seguro seu consumo. Além disso, pode interagir com os polissacarídeos a partir dos grupos polares (-OH), por ligações de hidrogênio e forças de Van Der Waals, levando a materiais mais resistentes (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023; Keshanidokht *et al.*, 2023).

Vários estudos mostram a utilização de glicerol como plastificante, como em filmes LMP na concentração de 10-40% m/m PEC (Chaichi *et al.*, 2019), em filmes com extrato de própolis na concentração de 30% m/m PEC (Marangoni Júnior *et al.*, 2022), em filmes de PEC e ágar na concentração de 30% m/m polímeros (ROY; RHIM, 2021), na otimização da concentração de PEC da casca de cidra com o glicerol na concentração de 15%-25% (Asfaw; Tafa; Satheesh, 2023), em filmes com PEC retirada de casca de banana na concentração de 40% m/m (Xie *et al.*, 2023), entre outros.

2.3. RETICULANTE

Os reticulantes são compostos químicos que são adicionados a materiais poliméricos para aumentar sua rigidez, resistência e estabilidade dimensional. Eles são usados para criar ligações químicas cruzadas entre as moléculas de polímero, o que aumenta a densidade de ligações químicas e a resistência do material. Pode ocorrer a reticulação de três maneiras diferentes. A reticulação química, que são compostos que reagem com as moléculas de polímero para criar ligações cruzadas. A reticulação física, onde compostos formam ligações cruzadas físicas entre as moléculas de polímero. Também a reticulação por radiação ionizante que é um processo que envolve a exposição do material polimérico a raios gama ou feixes de elétrons (Cao *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2018).

A reticulação física é uma técnica vantajosa para melhorar as propriedades dos polímeros, pois é mais controlável, não produz subprodutos e não requer aditivo. Esse tipo de reticulação cria uma rede tridimensional que torna o polímero mais forte e mais estável em altas temperaturas e pressões, além de melhorar suas propriedades mecânicas. A

melhoria da qualidade dos filmes de biopolímeros facilita sua competição com embalagens não biodegradáveis e também pode agregar valor a um resíduo industrial (Chaichi *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2018).

Agentes reticulantes são utilizados em filmes para diminuir a solubilidade em água do material, diminuindo grau de intumescimento, tornando-se mais interessante em aplicações biomédicas e em embalagens de alimentos que possuem maior grau de umidade. Uma das propriedades funcionais da PEC é a gelificação, que para ocorrer é necessário à presença de cátions bivalentes, como íons de cálcio Ca^{2+} . Isso ocorre devido alguns íons de Ca^{2+} serem capazes de fixar diversos sítios de ligação de biopolímero (Chaichi *et al.*, 2019).

O modelo de gelificação da PEC ocorre na presença de Ca (cálcio), pois o Ca se liga aos sítios de ligação da PEC, estabilizando os grupos carboxilatos presentes o que aumenta a capacidade da PEC de formar uma rede gelatinosa. A gelificação também pode ocorrer em ambiente ácido ou em co-soluto de alta concentração, por meio de reticulação entre os grupos metil favorecidos por ligações de hidrogênio e forças hidrofóbicas. (Cao *et al.*, 2020)

As propriedades mecânicas dos filmes geralmente dependem das ligações cruzadas não covalentes, incluindo ligações de hidrogênio, interação eletrostática e /ou interações hidrofóbicas (Cao *et al.*, 2020). Os íons de cálcio são essenciais para a formulação de materiais inorgânico-orgânicos e funcionam como um agente reticulante não covalente em uma rede. A PEC com cadeia molecular mais longa possui mais locais de ligação ao Ca, de acordo com seu grau de metoxilação, com um grande número de sítios ativos de ligação ao Ca o que contribui para a formação de estruturas de rede percolantes. Nakamoto *et al.*, (2022) em seu estudo utilizam Ca para melhorar propriedades do hidrogel a base de poli- γ -glutamato.

Entretanto, filmes sem a presença de aditivos ativos nas formulações pouco contribuem para o retardo na degradação precoce dos produtos embalados. Nesta perspectiva, embalagens ativas têm ganhado destaque.

2.4. EMBALAGEM ATIVA

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, as embalagens inteligentes e ativas têm recebido destaque, principalmente na área de alimentos. Embalagens inteligentes fornecem informações sobre o produto embalado ou sobre o ambiente em que ele está sendo transportado ou armazenado. São projetadas para detectar as condições de armazenamento, data de validade, determinar o frescor dos alimentos ou monitorar o crescimento microbiano.

Podem conter sensores que monitoram a temperatura, umidade, pressão, luz e outras condições, permitindo que as empresas rastreiem o status do produto em tempo real (Marangoni Júnior *et al.*, 2022; Soltani Firouz; Mohi-Alden; Omid, 2021).

Já as embalagens ativas são aquelas que possuem a capacidade de interagir com o material embalado, melhoram o desempenho da embalagem, conferindo maior vida útil, preservando-o com segurança. Incorporam materiais ou substâncias que interagem com o produto embalado para estender sua vida útil ou melhorar sua qualidade. Essas substâncias podem ser liberadas da embalagem para modificar a atmosfera em torno do produto, remover ou neutralizar substâncias que possam afetar a qualidade do produto, ou fornecer ingredientes adicionais que ajudam a preservar a qualidade do produto (Sharifi; Pirsa, 2021; Soltani Firouz; Mohi-Alden; Omid, 2021). Os principais sistemas de embalagem ativa podem atuar na remoção de oxigênio, absorvedores de etileno, absorvedores/emissores de dióxido de carbono, sistemas de liberação/absorção de sabor, ação antioxidante e antimicrobiana e controladores de umidade (Sharifi; Pirsa, 2021).

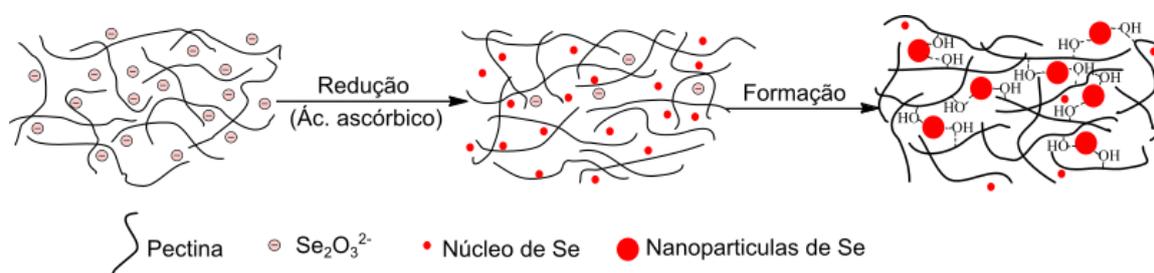
Esses ingredientes adicionados às embalagens que as tornam ativas são definidos como ingredientes ativos. Eles podem ter funções específicas de acordo com cada aplicação, como por exemplo, atividade antimicrobiana (Jovanović *et al.*, 2021), atividade antioxidante (Lin *et al.*, 2023), absorvedores de umidade ou de oxigênio (Mohamed; El-Sakhawy; El-Sakhawy, 2020), etc. Dentre eles, ingredientes ativos com ação antioxidante podem ser adicionados em filmes/revestimentos biodegradáveis para inibir a oxidação dos componentes gordurosos, causada pelo ataque de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, aumentando a vida de prateleira dos produtos embalados (Kumar; Goel, 2019; Soltani Firouz; Mohi-Alden; Omid, 2021). Neste sentido, materiais compósitos com ação antioxidante têm sido produzidos pela adição de SeNPs (Chen *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2021).

2.5. NANOPARTÍCULAS DE SELÊNIO (SENPS)

O selênio é um micronutriente extremamente importante para os organismos vivos, por ajudar a controlar os sistemas antioxidantes endógenos. No entanto, existe uma margem estreita entre os níveis aceitáveis/tóxicos de ingestão diária para os seres humanos. A Academia Nacional de Ciências dos EUA recomenda um subsídio dietético para Se de 55 µg/dia para homens adultos (Qiu *et al.*, 2018).

Zhang et al., (2021) descrevem a formação das SeNPs pela redução do sal selenito de sódio (Na_2SeO_3) através da adição do ácido ascórbico. Durante a síntese, o Se^{+4} é reduzido para Se^0 , passando pela etapa de agregação e estabilização com dente-de-leão *Taraxacum mongolicum* (TMP) 50-2 e Tween 80, mantendo o diâmetro das nanopartículas em escala nanométrica (Zhang et al., 2021). A partir deste estudo uma sugestão de mecanismo para formação das SeNPs sendo estabilizadas com PEC (figura 3). Além de estabilizador, os polissacarídeos ainda podem atuar como agente de capeamento, ou em alguns casos como agente redutor (Li et al., 2019; Song et al., 2020).

Figura 5: Modelo esquemático da formação das SeNPs em PEC.



Fonte: Autoria própria através do software Inkscape.

No mecanismo proposto, as moléculas de pectina, com seus grupos $-\text{OH}$, inicialmente interagem com os ânions precursores SeO_3^{2-} , formando um intermediário em forma de cadeia através de interações eletrostáticas. Posteriormente, o SeO_3^{2-} é reduzido a selênio (Se) pelo ácido ascórbico, que atua como agente redutor. Conforme a reação avança, os átomos de Se se agregam, formando núcleos de selênio que se polimerizam em SeNPs. Os grupos $-\text{OH}$ da pectina são fundamentais nesse processo, auxiliando na nucleação e no crescimento das partículas, o que resulta em um sistema estável, impedindo a segregação e sedimentação das SeNPs.

Estudos anteriores reportam a produção de materiais compósitos enriquecidos com SeNPs a base de: quitosana para aplicação como tecidos cardíacos (1 mL de SeNPs 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) (Kalishwaralal et al., 2018); polissacarídeos de manguezais para avaliar potencial de bioatividade (10 mL, selenito de sódio 0,01 M) (Jha et al., 2022); arabinogalactanas para potencializar a atividade antitumoral (1 mL de Na_2SeO_3 nas concentrações de 30, 60 e 120 mM) (Tang et al., 2019); carboximetilcelulose para liberação das SeNPs em sistemas de radicais livres (10 mL de uma solução ácida de selênio 20 mmol/L) (Chen et al., 2022); e quitosana/álcool poli(vinílico) para avaliar atividade antibacteriana (Menazea et al., 2020), etc. No entanto, até o presente momento, não foi possível encontrar registro sobre o

desenvolvimento e caracterização de embalagem/revestimento a base de PEC carregadas com SeNPs.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis à base de polissacarídeos, emerge como uma alternativa sustentável às embalagens plásticas tradicionais, geralmente derivadas do petróleo. A PEC se destaca por suas propriedades biocompatíveis, econômicas e de formação de filmes. No entanto, para melhorar suas características mecânicas e de barreira, é necessário adicionar plastificantes e reticulantes. O glicerol é um plastificante eficaz, conhecido por sua biodegradabilidade, baixo custo e segurança, enquanto os íons de cálcio atuam como agentes reticulantes, formando redes tridimensionais que conferem maior resistência e estabilidade aos filmes.

Além das propriedades físicas das embalagens, a incorporação de componentes ativos como antioxidantes pode melhorar significativamente a conservação dos produtos embalados. As SeNPs, com suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, surgem como uma solução promissora. A estabilização de SeNPs com pectina não só utiliza a capacidade filmogênica da pectina, mas também incorpora as vantagens antioxidantes das SeNPs, potencializando a conservação dos alimentos.

Este estudo destaca a relevância contínua da pesquisa e inovação no campo das embalagens sustentáveis. A combinação de PEC com SeNPs demonstra um potencial significativo para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas, que oferecem proteção física e prolongam a vida útil dos alimentos através da inibição de processos oxidativos. A investigação e utilização de tais materiais inovadores são fundamentais para reduzir o impacto ambiental das embalagens plásticas, promovendo a sustentabilidade na indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

- ASFAW, W. A.; DEKEBA, K. Optimization of Citron Peel Pectin and Glycerol Concentration in the Production of Edible Film Using Response Surface Methodology (RSM), FTIR and Thermal Properties. **SSRN Electronic Journal**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. e13724, 2022.
- ATTARBACHI, T.; KINGSLEY, M. D.; SPALLINA, V. New trends on crude glycerol purification: A review. **Fuel**, [s. l.], v. 340, p. 127485, 2023.
- BYUN, C. *et al.* The effect of calcium on the cohesive strength and flexural properties of low-methoxyl pectin biopolymers. **Molecules**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 1–11, 2020.

- CAO, L. *et al.* Egg-box model-based gelation of alginate and pectin: A review. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 242, p. 116389, 2020.
- CHAICHI, M. *et al.* Water resistance and mechanical properties of low methoxy-pectin nanocomposite film responses to interactions of Ca²⁺ ions and glycerol concentrations as crosslinking agents. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 293, p. 429–437, 2019.
- CHAN, S. Y. *et al.* Rice starch thin films as a potential buccal delivery system: Effect of plasticiser and drug loading on drug release profile. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 562, p. 203–211, 2019.
- CHEN, Y. *et al.* Stability and surface properties of selenium nanoparticles coated with chitosan and sodium carboxymethyl cellulose. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 278, p. 118859, 2022.
- DE JESUS, G. A. M. *et al.* κ-Carrageenan/poly(vinyl alcohol) functionalized films with gallic acid and stabilized with metallic ions. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 253, p. 127087, 2023.
- GARCIA, P. S. *et al.* Improving action of citric acid as compatibiliser in starch/polyester blown films. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 52, p. 305–312, 2014.
- JHA, N. *et al.* Synthesis, optimization, and physicochemical characterization of selenium nanoparticles from polysaccharide of mangrove *Rhizophora mucronata* with potential bioactivities. **Journal of Trace Elements and Minerals**, [s. l.], v. 2, p. 100019, 2022.
- JOVANOVIĆ, J. *et al.* Chitosan and pectin-based films and coatings with active components for application in antimicrobial food packaging. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 158, 2021.
- KALISHWARALAL, K. *et al.* A novel biocompatible chitosan–Selenium nanoparticles (SeNPs) film with electrical conductivity for cardiac tissue engineering application. **Materials Science and Engineering: C**, [s. l.], v. 92, p. 151–160, 2018.
- KARIM, R. *et al.* Pectin from lemon and mango peel: Extraction, characterisation and application in biodegradable film. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 4, p. 100258, 2022.
- KESHANIDOKHT, S. *et al.* Food Hydrocolloids Thermo-responsive behavior of glycerol-plasticized oleogels stabilized by zein. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 139, n. November 2022, p. 108582, 2023.
- KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology Reports**, [s. l.], v. 24, p. e00370, 2019.
- LEYVA-JIMÉNEZ, F. J. *et al.* Comprehensive review of natural based hydrogels as an upcoming trend for food packing. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 135, p. 108124, 2023.

- LI, J. *et al.* A combination of selenium and polysaccharides: Promising therapeutic potential. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 206, p. 163–173, 2019.
- LI, D. qiang *et al.* Pectin in biomedical and drug delivery applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 185, p. 49–65, 2021.
- LIN, X. *et al.* Fabrication, characterization and biological properties of pectin and/or chitosan-based films incorporated with noni (*Morinda citrifolia*) fruit extract. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 134, p. 108025, 2023.
- LIN, D. *et al.* The structure, properties and potential probiotic properties of starch-pectin blend: A review. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 129, p. 107644, 2022.
- MARANGONI JÚNIOR, L. *et al.* Effect of green propolis extract on functional properties of active pectin-based films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 131, p. 107746, 2022.
- MENAZEA, A. A. *et al.* Physical characterization and antibacterial activity of PVA/Chitosan matrix doped by selenium nanoparticles prepared via one-pot laser ablation route. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 9598–9606, 2020.
- MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. M. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 238, p. 116178, 2020.
- NASTASI, J. R. *et al.* Pectin-based films and coatings with plant extracts as natural preservatives: A systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 120, p. 193–211, 2022.
- PRİYADARSHI, R.; RHIM, J. W. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 62, p. 102346, 2020.
- QIU, W. Y. *et al.* Construction, stability, and enhanced antioxidant activity of pectin-decorated selenium nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, [s. l.], v. 170, p. 692–700, 2018.
- ROY, S.; RHIM, J. W. Fabrication of pectin/agar blended functional film: Effect of reinforcement of melanin nanoparticles and grapefruit seed extract. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 118, p. 106823, 2021.
- ROY, S.; RHIM, J. W. Preparation of pectin/agar-based functional films integrated with zinc sulfide nano petals for active packaging applications. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, [s. l.], v. 207, n. June, p. 111999, 2021.
- SANTOS, J. P. *et al.* Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s. l.], v. 539, p. 184–191, 2018.

- SHARIFI, K. A.; PIRSA, S. Biodegradable film of black mulberry pulp pectin/chlorophyll of black mulberry leaf encapsulated with carboxymethylcellulose/silica nanoparticles: Investigation of physicochemical and antimicrobial properties. **Materials Chemistry and Physics**, [s. l.], v. 267, p. 124580, 2021.
- SOLTANI FIROUZ, M.; MOHI-ALDEN, K.; OMID, M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. **Food Research International**, [s. l.], v. 141, p. 110113, 2021.
- SONG, Y. *et al.* Green synthesized Se–ZnO/attapulgitite nanocomposites using Aloe vera leaf extract: Characterization, antibacterial and antioxidant activities. **LWT**, [s. l.], v. 165, p. 113762, 2022.
- SONG, X. *et al.* Physicochemical and functional properties of chitosan-stabilized selenium nanoparticles under different processing treatments. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 331, p. 127378, 2020.
- TANG, S. *et al.* Construction of arabinogalactans/selenium nanoparticles composites for enhancement of the antitumor activity. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 128, p. 444–451, 2019.
- TEIXEIRA, S. C. *et al.* Glycerol and triethyl citrate plasticizer effects on molecular, thermal, mechanical, and barrier properties of cellulose acetate films. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 42, p. 101202, 2021.
- XIE, J. *et al.* Pectin from plantain peels: Green recovery for transformation into reinforced packaging films. **Waste Management**, [s. l.], v. 161, p. 225–233, 2023.
- XU, X. *et al.* Antibacterial thin film nanocomposite forward osmosis membranes produced by in-situ reduction of selenium nanoparticles. **Process Safety and Environmental Protection**, [s. l.], v. 153, p. 403–412, 2021.
- ZAMBUZI, G. C. *et al.* Modulating the controlled release of hydroxychloroquine mobilized on pectin films through film-forming pH and incorporation of nanocellulose. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 2, p. 100140, 2021.
- ZHANG, S. *et al.* A dandelion polysaccharide and its selenium nanoparticles: Structure features and evaluation of anti-tumor activity in zebrafish models. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 270, p. 118365, 2021.
- ZHANG, C. *et al.* Improving viscosity and gelling properties of leaf pectin by comparing five pectin extraction methods using green tea leaf as a model material. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 98, p. 105246, 2020.
- ZHU, F. Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 359, p. 129871, 2021.

CAPÍTULO XII

O FUTURO DAS ANÁLISES CLÍNICAS: PERSPECTIVAS E DESAFIOS

THE FUTURE OF CLINICAL ANALYSIS: PERSPECTIVES AND CHALLENGES

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-12

Jéssica da Cruz Chagas¹

Rafael de Lima Erazo²

João Antônio dos Santos Monteiro³

Maik Ximenes Guedes Junior⁴

Alessandra Rodrigues Marques⁵

Sabrina Monteiro Rocha⁶

¹ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

² Doutor em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

³ Especialista em Ensino de Ciências. Instituto Federal do Amazonas – IFAM

⁴ Graduado em Biomedicina. Centro Universitário e Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO

⁵ Especialista em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica. Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

⁶ Graduada em Ciências Biológicas. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

RESUMO

A análise clínica tem evoluído significativamente com avanços tecnológicos que melhoram o diagnóstico, tratamento e monitoramento de doenças. Esta revisão aborda o impacto de tecnologias emergentes, como a sequenciação de próxima geração (NGS) e inteligência artificial (IA), bem como os desafios associados a essas inovações. Assim, o objetivo é analisar os principais avanços e desafios na análise clínica, com foco em tecnologias emergentes e sua aplicação na prática clínica. Foram analisados sete artigos recentes publicados no PubMed sobre tendências e desafios na análise clínica. A seleção foi feita com base em relevância e atualidade, abrangendo diversas tecnologias e suas aplicações. Os estudos mostram que a NGS e a IA têm potencial para transformar a prática clínica, aumentando a precisão diagnóstica e a eficiência dos laboratórios. A NGS permite uma análise detalhada do genoma, essencial para medicina personalizada. A IA melhora a interpretação de resultados e automatiza processos laboratoriais. No entanto, esses avanços exigem infraestrutura avançada, formação especializada e manejo de grandes volumes de dados. Embora as novas tecnologias na análise clínica sejam promissoras, a

sua implementação bem-sucedida depende de investimentos contínuos em pesquisa, infraestrutura e capacitação profissional. A automatização e a integração de ferramentas diagnósticas modernas são essenciais para maximizar os benefícios para os pacientes, melhorando a precisão e a eficiência dos diagnósticos.

Palavras-chave: Sequenciação de Próxima Geração. Inteligência Artificial. Diagnóstico Clínico.

ABSTRACT

Clinical analysis has evolved significantly with technological advances that improve the diagnosis, treatment and monitoring of diseases. This review addresses the impact of emerging technologies, such as next-generation sequencing (NGS) and artificial intelligence (AI), as well as the challenges associated with these innovations. To analyze the main advances and challenges in clinical analysis, with a focus on emerging technologies and their application in clinical practice. Seven recent articles published in PubMed on trends and challenges in clinical analysis were analyzed. The selection was made based on relevance and currentness, covering

several technologies and their applications. The studies show that NGS and AI have the potential to transform clinical practice, increasing diagnostic accuracy and laboratory efficiency. NGS allows detailed genome analysis, essential for personalized medicine. AI improves the interpretation of results and automates laboratory processes. However, these advances require advanced infrastructure, specialized training and management of large volumes of data. Although new technologies in

clinical analysis are promising, their successful implementation depends on continued investment in research, infrastructure and professional training. Automation and integration of modern diagnostic tools are essential to maximize patient benefits by improving diagnostic accuracy and efficiency.

Keywords: Next Generation Sequencing. Artificial Intelligence. Clinical Diagnostics.

1. INTRODUÇÃO

As análises clínicas desempenham um papel vital na medicina moderna, sendo fundamentais para o diagnóstico, tratamento e monitoramento de doenças. Elas englobam uma variedade de testes laboratoriais realizados em amostras biológicas, como sangue, urina e tecidos, que fornecem informações essenciais sobre o estado de saúde dos pacientes. Desde a descoberta da microscopia até o desenvolvimento de técnicas moleculares avançadas, a evolução das análises clínicas tem sido marcada por inovações tecnológicas que aprimoraram significativamente a precisão e a rapidez dos diagnósticos (GRAYSON et al., 2019).

A história das análises clínicas é longa e rica, remontando a tempos antigos, quando os primeiros médicos faziam observações simples de fluidos corporais para determinar o estado de saúde dos pacientes. No entanto, foi no século XIX, com o advento da microbiologia e a descoberta dos microrganismos causadores de doenças, que as análises clínicas começaram a se firmar como uma disciplina científica rigorosa. A invenção do microscópio por Antonie van Leeuwenhoek e os trabalhos pioneiros de Louis Pasteur e Robert Koch estabeleceram as bases para a bacteriologia e a parasitologia, áreas cruciais das análises clínicas (BROCK, 1999).

Com o avanço da química e da bioquímica no início do século XX, novos testes laboratoriais foram desenvolvidos, permitindo a medição precisa de compostos químicos no sangue e em outros fluidos corporais. O desenvolvimento de métodos colorimétricos e espectrofotométricos possibilitou a quantificação de substâncias como glicose, colesterol e enzimas, que são fundamentais para o diagnóstico de diversas condições clínicas. Além disso, a descoberta e o isolamento de hormônios e vitaminas abriram novas frentes para a investigação laboratorial, levando ao desenvolvimento de testes específicos para essas substâncias (BURTIS e BRUNS, 2014).

A segunda metade do século XX foi marcada por avanços tecnológicos significativos que transformaram as análises clínicas. A introdução de técnicas de automação e a

computação revolucionaram os laboratórios clínicos, aumentando a eficiência e a precisão dos testes. Analisadores automatizados permitiram a realização de um grande número de testes de forma rápida e padronizada, reduzindo o tempo de resposta e minimizando os erros humanos. Além disso, o desenvolvimento de técnicas de imunoenensaio, como ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), possibilitou a detecção de pequenas quantidades de proteínas e outras moléculas específicas, ampliando o espectro de doenças que podem ser diagnosticadas laboratorialmente (HENRY, 2011).

Na última década, a biologia molecular trouxe uma nova era para as análises clínicas. Técnicas como a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) e o sequenciamento de nova geração (NGS) permitiram a análise detalhada do material genético, facilitando a detecção de doenças genéticas, infecciosas e até mesmo a predisposição a certas condições. Esses avanços têm revolucionado a medicina personalizada, permitindo tratamentos mais precisos e eficazes baseados no perfil genético do paciente (HENRY, 2011).

A importância das análises clínicas é destacada pela sua aplicação em diversas áreas da medicina. Na hematologia, por exemplo, os exames de sangue são essenciais para o diagnóstico de anemias, leucemias e outras doenças hematológicas. Na microbiologia, a cultura de patógenos e a identificação de agentes infecciosos são cruciais para o tratamento adequado de infecções. Na bioquímica, a medição de metabólitos e enzimas é fundamental para o diagnóstico de doenças metabólicas e hepáticas (BURTIS e BRUNS, 2014). Além disso, os testes de coagulação são vitais para a gestão de pacientes com distúrbios hemorrágicos e trombóticos (FAVALORO, 2016).

A pandemia de COVID-19 ressaltou ainda mais a importância das análises clínicas. Testes diagnósticos rápidos e precisos foram essenciais para a identificação e controle da propagação do vírus SARS-CoV-2. A capacidade de realizar testes em larga escala, combinada com o sequenciamento genômico do vírus, permitiu o rastreamento de variantes e a implementação de medidas de saúde pública mais eficazes (LUDWIG e ZARBOCK, 2020). Esse exemplo ilustra como as análises clínicas são fundamentais não apenas para o cuidado individual do paciente, mas também para a saúde pública em geral.

No entanto, apesar dos avanços significativos, as análises clínicas enfrentam vários desafios que precisam ser abordados para continuar avançando. A rápida evolução tecnológica exige uma constante atualização dos profissionais de saúde, que precisam estar familiarizados com novos métodos e equipamentos (MACHADO, 2003). A padronização e a

validação de novos testes são essenciais para garantir a sua confiabilidade e precisão, mas muitas vezes enfrentam barreiras regulatórias complexas. Além disso, a acessibilidade das novas tecnologias é um desafio, especialmente em regiões menos desenvolvidas, onde o custo pode ser proibitivo (KOST et al., 2018).

A qualidade e a segurança nos laboratórios clínicos são outras áreas críticas que requerem atenção contínua. Protocolos rigorosos de controle de qualidade são essenciais para garantir a precisão dos resultados, e a acreditação de laboratórios por órgãos reconhecidos internacionalmente, como a ISO 15189, é um passo importante nesse sentido (KOST et al., 2018). A segurança dos profissionais de laboratório também é crucial, especialmente no manuseio de amostras biológicas potencialmente perigosas. A implementação de práticas de biossegurança e o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs) são fundamentais para prevenir contaminações e garantir um ambiente de trabalho seguro (DRAMOWSKI et al., 2020).

Outra tendência emergente que está moldando o futuro das análises clínicas é a digitalização e o uso de inteligência artificial (IA). A digitalização dos dados laboratoriais permite uma melhor integração com os sistemas de saúde, facilitando o compartilhamento de informações e a coordenação do cuidado ao paciente. A IA tem o potencial de revolucionar a interpretação dos resultados laboratoriais, utilizando algoritmos avançados para identificar padrões e prever resultados clínicos com uma precisão cada vez maior. Essas tecnologias não só melhoram a eficiência dos laboratórios, mas também abrem novas possibilidades para a medicina preditiva e personalizada (COLLING et al., 2019).

A integração das análises clínicas com a saúde pública e a medicina preventiva é outra área de grande potencial. Testes laboratoriais desempenham um papel crucial na detecção e monitoramento de surtos de doenças infecciosas, como foi demonstrado durante a pandemia de COVID-19 (LUDWIG e ZARBOCK, 2020). Programas de triagem em massa, tanto para doenças infecciosas quanto crônicas, podem ajudar a identificar indivíduos em risco e implementar intervenções precoces, melhorando os resultados de saúde populacional (SASLOW et al., 2016).

Em resumo, as análises clínicas são um componente essencial da medicina moderna, com uma história rica de inovações tecnológicas que continuam a avançar. A importância dessas análises é inegável, não apenas para o diagnóstico e tratamento de doenças individuais, mas também para a saúde pública em geral. No entanto, para aproveitar

plenamente o potencial dessas inovações, é necessário enfrentar os desafios de custo, acessibilidade, regulamentação, qualidade e segurança. A qualificação dos profissionais de saúde é fundamental para maximizar o potencial dos trabalhadores, permitindo que enfrentem as mudanças e desafios no desempenho diário de suas funções. A capacitação contínua não só melhora a qualidade dos serviços prestados, mas também contribui para a segurança e satisfação dos pacientes, promovendo um sistema de saúde mais eficaz e resiliente (MACHADO, 2003). Sendo assim, o objetivo desse trabalho é analisar os principais avanços e desafios na análise clínica, com foco em tecnologias emergentes e sua aplicação na prática clínica.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa caracterizou-se como uma revisão bibliográfica sobre tendências e desafios das análises clínicas, onde foram analisados sete artigos publicados na base de dados PubMed. A seleção dos artigos foi feita com base em critérios específicos, incluindo a relevância para o tema, a atualidade das publicações (últimos cinco anos) e a qualidade das revistas científicas onde foram publicados.

A busca foi realizada utilizando palavras-chave como "tendências em análises clínicas", "desafios das análises clínicas", "inovações tecnológicas em análises clínicas" e "segurança e qualidade em laboratórios clínicos".

Os resultados foram analisados de forma a identificar os principais avanços e obstáculos enfrentados na área, bem como as perspectivas futuras para o desenvolvimento das análises clínicas. As informações extraídas dos artigos foram organizadas e apresentadas de forma sistemática, permitindo uma compreensão abrangente dos tópicos abordados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da revisão dos sete artigos selecionados destacam os principais avanços, tendências e desafios nas análises clínicas (Quadro 1).

Quadro 1: Artigos selecionados do Pubmed.

| ARTIGO | AUTORES | ANO | DESCRIÇÃO |
|--|--------------------|------|--|
| Third-Generation Sequencing in the Clinical Laboratory: Exploring the Advantages and Challenges of Nanopore Sequencing | PETERSEN LM et al. | 2022 | Este artigo revisa a tecnologia de sequenciamento de nanopore, uma técnica de terceira geração que oferece vantagens significativas em termos de rapidez e flexibilidade para análises clínicas. Ele permite a sequenciação em tempo real e pode detectar uma ampla gama de variantes genéticas. No entanto, a precisão e a alta taxa de erro permanecem como desafios críticos. O |

| ARTIGO | AUTORES | ANO | DESCRIÇÃO |
|--|---------------------------------------|------|--|
| | | | artigo discute as aplicações clínicas, incluindo diagnóstico de doenças infecciosas, e os avanços necessários para melhorar a precisão e reduzir os custos, tornando essa tecnologia mais acessível para uso clínico rotineiro. |
| Comparison of Illumina versus Nanopore 16S rRNA Gene Sequencing of the Human Nasal Microbiota | HEIKEMA AP et al. | 2020 | Este estudo compara as tecnologias de sequenciamento Illumina e Nanopore para analisar o microbioma nasal humano. Enquanto Illumina oferece alta precisão e profundidade de sequenciamento, a tecnologia Nanopore se destaca pela rapidez e menor custo operacional. A pesquisa revela que, embora ambos os métodos identifiquem de maneira eficaz a composição microbiana, há diferenças na sensibilidade e na capacidade de detectar certas espécies. O artigo destaca a necessidade de selecionar a tecnologia de sequenciamento com base nos requisitos específicos de cada estudo clínico e diagnóstico. |
| Oxford Nanopore Sequencing in Clinical Microbiology and Infection Diagnostics | SHEKA D, ALABI N, GORDON PMK. | 2021 | Esta revisão detalha o uso do sequenciamento por nanopore em microbiologia clínica, enfatizando seu papel no diagnóstico de infecções. A tecnologia permite a identificação rápida de patógenos diretamente de amostras clínicas sem a necessidade de cultivo, o que é crucial para o tratamento imediato de infecções. No entanto, o artigo também aborda desafios como a variabilidade nos resultados e a necessidade de melhorias na precisão do sequenciamento. A aplicação em diagnósticos clínicos ainda está em evolução, com potencial significativo para melhorar a gestão de doenças infecciosas. |
| Utilizing Nanopore Sequencing Technology for the Rapid and Comprehensive Characterization of Eleven HLA Loci | MOSBRUGER TL, DINO A, DUKE JL, et al. | 2020 | Este artigo explora o uso do sequenciamento de nanopore para a caracterização rápida e detalhada de loci HLA, essenciais em transplantes de órgãos. A técnica permite uma tipagem completa e precisa de HLA em tempo hábil, crucial para a compatibilidade entre doadores e receptores. O estudo destaca a eficiência e a praticidade da tecnologia em comparação com métodos tradicionais, embora reconheça a necessidade de abordagens para minimizar erros de sequenciamento e melhorar a análise de dados. As implicações clínicas incluem um melhor gerenciamento de transplantes e respostas imunológicas. |
| The Applications of Nanopore Sequencing Technology in Animal and Human Virus Research | Ji CM, Feng XY, Huang YW, Chen RA. | 2024 | Esta revisão discute as aplicações do sequenciamento por nanopore na pesquisa de vírus em humanos e animais. A tecnologia permite uma detecção rápida e abrangente de vírus, facilitando a resposta a surtos e o monitoramento de zoonoses. O artigo destaca estudos de caso onde a tecnologia foi aplicada com sucesso, como na detecção de variantes do vírus da gripe e coronavírus. Desafios incluem a necessidade de maior precisão e métodos de análise de dados mais robustos. A revisão conclui que, com melhorias contínuas, o sequenciamento por nanopore tem um grande potencial na virologia. |

| ARTIGO | AUTORES | ANO | DESCRIÇÃO |
|---|------------------|------|--|
| Advances in Laboratory Diagnostics: From the Bench to the Clinic | KOST GJ, et al. | 2018 | Este artigo discute os avanços na diagnóstica laboratorial e sua transição da pesquisa para a prática clínica. Inovações como a automação de laboratórios, inteligência artificial e novas técnicas de bioquímica são abordadas, mostrando como estas tecnologias melhoram a precisão e a eficiência dos diagnósticos. Desafios incluem a necessidade de validação rigorosa, questões de custo e acessibilidade, e a adaptação de novos métodos pelos profissionais de saúde. O artigo conclui que, apesar dos obstáculos, os avanços tecnológicos têm o potencial de transformar significativamente os diagnósticos laboratoriais. |
| Inteligência artificial em patologia digital: um roteiro para o uso rotineiro na prática clínica. | COLLING R et al. | 2017 | O artigo discute como a inteligência artificial (IA) está prestes a revolucionar a prática clínica, especialmente na área de histopatologia. A integração da análise de imagens e do aprendizado de máquina promete transformar a forma como os diagnósticos são feitos, tanto no Reino Unido quanto globalmente. Essa revolução digital está levando ao desenvolvimento de diversas ferramentas de software de análise de imagens, que podem fornecer novas informações clínicas preditivas e ajudar a mitigar a escassez de profissionais em patologia. No entanto, para que essas ferramentas sejam eficazes e aprovadas para uso clínico, é necessário um desenvolvimento colaborativo e baseado em evidências. Para isso, a iniciativa NCRI Cellular Molecular Pathology (CM-Path) e a British In Vitro Diagnostics Association (BIVDA) criaram um roteiro para orientar a academia, a indústria e os médicos no desenvolvimento dessas novas tecnologias até que estejam prontas para uso clínico aprovado. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os artigos revisados apresentam avanços significativos nas tecnologias de sequenciamento e diagnóstico laboratorial, com foco especial no sequenciamento por nanopore, uma técnica de terceira geração com potencial para revolucionar a prática clínica. Petersen et al. (2022) destacam as vantagens do sequenciamento por nanopore, como a rapidez e flexibilidade para análises clínicas, permitindo a detecção em tempo real de variantes genéticas. No entanto, os desafios incluem a necessidade de melhorar a precisão e reduzir as altas taxas de erro, fatores críticos para a adoção rotineira dessa tecnologia na prática clínica.

Heikema et al. (2020) comparam as tecnologias de sequenciamento Illumina e Nanopore no estudo do microbioma nasal humano. Embora o Illumina ofereça maior precisão e profundidade, o Nanopore se destaca pela rapidez e menor custo. As diferenças na

sensibilidade e capacidade de detecção de espécies sugerem que a escolha da tecnologia deve ser feita com base nas necessidades específicas de cada estudo ou diagnóstico.

Sheka, Alabi e Gordon (2021) exploram o uso do sequenciamento por nanopore na microbiologia clínica, particularmente no diagnóstico de infecções. A identificação rápida de patógenos diretamente das amostras clínicas sem a necessidade de cultivo é uma vantagem importante, mas a variabilidade nos resultados e os desafios com a precisão do sequenciamento são obstáculos que precisam ser superados.

Mosbrugger et al. (2020) demonstram a aplicabilidade do sequenciamento por nanopore na caracterização dos loci HLA, fundamentais para a compatibilidade em transplantes de órgãos. A tecnologia oferece uma tipagem completa e precisa em tempo hábil, embora sejam necessários aprimoramentos para minimizar erros e melhorar a análise de dados, o que beneficiaria o gerenciamento de transplantes.

Ji et al. (2024) revisam as aplicações do sequenciamento por nanopore na pesquisa de vírus em humanos e animais. A detecção rápida de vírus e o monitoramento de zoonoses são vantagens claras, mas, novamente, os desafios relacionados à precisão e à robustez dos métodos de análise de dados são enfatizados. O artigo conclui que, com melhorias contínuas, a tecnologia tem grande potencial na virologia.

Por fim, Kost et al. (2018) discutem os avanços nas tecnologias laboratoriais, como automação e inteligência artificial, que estão transformando a prática clínica. Apesar dos benefícios, como maior precisão e eficiência, os autores destacam os desafios relacionados à validação, custo e adaptação das novas ferramentas pelos profissionais de saúde.

Em um contexto complementar, Colling et al. (2017) abordam o impacto da inteligência artificial na patologia digital, sugerindo que essa tecnologia pode transformar a análise de imagens e melhorar os diagnósticos clínicos. O artigo enfatiza a necessidade de desenvolvimento colaborativo entre academia, indústria e medicina para que essas ferramentas sejam aprovadas para uso clínico.

Em resumo, os artigos destacam tanto as promessas quanto os desafios das tecnologias emergentes, com o sequenciamento por nanopore recebendo especial atenção devido ao seu potencial de impacto na prática clínica, desde o diagnóstico de infecções até a pesquisa de vírus e compatibilidade em transplantes. Embora os avanços sejam promissores, a precisão, a robustez das análises e os custos ainda precisam ser aprimorados para que essas tecnologias possam ser amplamente adotadas na rotina clínica.

4. CONCLUSÃO

As análises clínicas estão em constante evolução, impulsionadas por inovações tecnológicas e a digitalização. Apesar dos desafios, como custo, regulamentação e capacitação, o futuro das análises clínicas parece promissor. A contínua pesquisa e desenvolvimento são essenciais para superar os obstáculos e melhorar os diagnósticos e tratamentos, beneficiando a saúde global.

Os avanços tecnológicos, especialmente em sequenciamento genético e inteligência artificial, estão transformando as análises clínicas, oferecendo diagnósticos mais rápidos e precisos. No entanto, desafios significativos permanecem, incluindo a precisão do sequenciamento, a gestão de grandes volumes de dados genômicos, e a implementação de padrões de qualidade globalmente consistentes. Abordar esses desafios requer uma abordagem integrada que inclua o desenvolvimento de novas tecnologias, a padronização de práticas de qualidade, e a consideração de questões éticas e de segurança. Com essas abordagens, as análises clínicas podem continuar a evoluir, proporcionando benefícios significativos para a saúde pública e o tratamento individualizado.

REFERÊNCIAS

- BROCK, T. D. Robert Koch: A Life in Medicine and Bacteriology. ASM Press, 1999.
- BURTIS, C. A.; BRUNS, D. E. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics. Elsevier Health Sciences, 2014.
- COLLING R et al. Inteligência artificial em patologia digital: um roteiro para o uso rotineiro na prática clínica. J Pathol. Outubro de 2019; 249(2):143-150. DOI: 10.1002/caminho.5310. Epub 2019 18 de julho. PMID: 31144302.
- DRAMOWSKI A, WHITELAW A, ALGODÃO MF. Infecções associadas aos cuidados de saúde em crianças: conhecimento, atitudes e práticas dos profissionais de saúde pediátricos no Hospital Tygerberg, Cidade do Cabo. Paediatr Int Saúde Infantil. Agosto de 2016; 36(3):225-31. DOI: 10.1179/2046905515Y.0000000032. PMID: 25945794.
- FAVALORO EJ. Utilidade clínica do PFA-100. Semin Thromb Hemost. Novembro de 2008; 34(8):709-33. DOI: 10.1055/s-0029-1145254. Epub 2009 12 de fevereiro. PMID: 19214910.
- GRAYSON, M. L. et al. Kucers' the Use of Antibiotics. CRC Press, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781498747967>.

- HEIKEMA AP, HORST-KREFT D, BOERS SA, JANSEN R, HILTEMANN SD, DE KONING W, KRAAIJ R, DE RIDDER MAJ, VAN HOUTEN CB, BONT LJ, STUBBS AP, HAYS JP. Comparação do sequenciamento do gene Illumina versus Nanopore 16S rRNA da microbiota nasal humana. *Genes (Basileia)*. 21 de setembro de 2020; 11(9):1105. DOI: 10.3390/genes11091105. PMID: 32967250; PMCID: PMC7565314.
- HENRY, J. B. *Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods*. Elsevier Health, 2011.
- JI CM, FENG XY, HUANG YW, CHEN RA. As aplicações da tecnologia de sequenciamento de nanoporos na pesquisa de vírus animais e humanos. *Vírus*. 2024 16 de maio; 16(5):798. DOI: 10.3390/v16050798. PMID: 38793679; PMCID: PMC11125791.
- KOST GJ, EHRMEYER SS, CHERNOW B, WINKELMAN JW, ZALOGA GP, DELLINGER RP, SHIREY T. A interface laboratorial-clínica: testes no local de atendimento. *Peito*. Abril de 1999; 115(4):1140-54. DOI: 10.1378/chest.115.4.1140. PMID: 10208220.
- LUDWIG, S.; ZARBOCK, A. Coronaviruses and SARS-cov-2: A brief overview. *Anesthesia & Analgesia*, v. 131, n. 1, p. 93-96, 2020.
- MACHADO, M. H. Mercado de trabalho em saúde. In: FALCÃO, A. et al. (Orgs.). *Observatório de recursos humanos em saúde no Brasil: estudos e análises*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003.
- MOSBRUGER TL, DINOU A, DUKE JL, FERRIOLA D, MEHLER H, PAGKRATI I, DAMIANOS G, MBUNWE E, SARMADY M, LYRATZAKIS I, TISHKOFF SA, DINH A, MONOS DS. Utilizando tecnologia de sequenciamento de nanoporos para a caracterização rápida e abrangente de onze loci HLA; abordando a necessidade de doador falecido acelerando a tipagem HLA. *Zumbido Imunol*. Agosto de 2020; 81(8):413-422. DOI: 10.1016/j.humimm.2020.06.004. Epub 2020 25 de junho. PMID: 32595056; PMCID: PMC7870017.
- PETERSEN LM, MARTIN IW, MOSCHETTI WE, KERSHAW CM, TSONGALIS GJ. Third-Generation Sequencing in the Clinical Laboratory: Exploring the Advantages and Challenges of Nanopore Sequencing. *J Clin Microbiol*. 2019 Dec 23;58(1):e01315-19. doi: 10.1128/JCM.01315-19. PMID: 31619531; PMCID: PMC6935936.
- SASLOW, D.; SOLOMON, D.; LAWSON, H. W.; KILLACKEY, M.; KULASINGAM, S. L.; CAIN, J.; ... MYERS, E. R. American Cancer Society, American Society for Colposcopy and Cervical Pathology, and American Society for Clinical Pathology screening guidelines for the prevention and early detection of cervical cancer. *American Journal of Clinical Pathology*, v. 137, n. 4, p. 516-542, 2016.
- SHEKA D, ALABI N, GORDON PMK. Sequenciamento de nanoporos de Oxford em microbiologia clínica e diagnóstico de infecções. *Breve Bioinform*. 2 de setembro de 2021; 22(5):bbaa403. DOI: 10.1093/bib/bbaa403. PMID: 33483726.

CAPÍTULO XIII

ESTRATÉGIAS EMERGENTES NO COMBATE À RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EMERGING STRATEGIES IN THE FIGHT AGAINST ANTIMICROBIAL RESISTANCE: A LITERATURE REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-13

Jéssica da Cruz Chagas¹

Rafael de Lima Erazo²

João Antônio dos Santos Monteiro³

Maik Ximenes Guedes Junior⁴

Alessandra Rodrigues Marques⁵

Sabrina Monteiro Rocha⁶

¹ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

² Doutor em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

³ Especialista em Ensino de Ciências. Instituto Federal do Amazonas – IFAM

⁴ Graduado em Biomedicina. Centro Universitário e Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO

⁵ Especialista em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica. Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

⁶ Graduada em Ciências Biológicas. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

RESUMO

A resistência antimicrobiana (RAM) é um problema crescente que ameaça a eficácia dos tratamentos para doenças infecciosas. Este artigo de revisão bibliográfica explora estratégias emergentes para combater a RAM, destacando novos tratamentos, terapias alternativas e políticas de saúde pública. O objetivo é sintetizar as abordagens mais recentes e promissoras para mitigar essa ameaça global. Para realizar esta revisão, foram selecionados seis artigos publicados nos últimos cinco anos em bases de dados como PubMed. Esses artigos foram analisados quanto às inovações no desenvolvimento de antibióticos, o uso de terapias combinadas e adjuvantes, terapias com fagos e a implementação de políticas de saúde pública eficazes. A revisão dos seis artigos recentes sobre resistência antimicrobiana (RAM) destaca avanços importantes em estratégias emergentes para combater essa ameaça crescente à saúde global. As nanopartículas (NPs), tanto sintéticas quanto à base de plantas, surgem como ferramentas promissoras na superação da resistência bacteriana, devido à sua capacidade de direcionar especificamente patógenos resistentes. Os fitoquímicos também se mostram eficazes, com potencial para reverter a resistência e melhorar a eficácia dos antibióticos

convencionais. A revisão sistemática reforça a necessidade de práticas de controle de infecções e prescrição racional para evitar a disseminação de micróbios multirresistentes em ambientes hospitalares. Além disso, estratégias inovadoras como o uso de pós-bióticos oferecem novas perspectivas no tratamento e prevenção de infecções resistentes, com benefícios em termos de segurança e viabilidade econômica. No entanto, a implementação dessas estratégias exige mais pesquisas para confirmar sua eficácia em larga escala e garantir sua segurança para uso humano.

Palavras-chave: Resistência Antimicrobiana; Terapias Emergentes; Políticas de Saúde Pública.

ABSTRACT

Antimicrobial resistance (AMR) is a growing problem that threatens the effectiveness of treatments for infectious diseases. This literature review explores emerging strategies to combat AMR, highlighting new treatments, alternative therapies, and public health policies. The aim is to synthesize the most recent and promising approaches to mitigate this global threat. To conduct this review, six articles published in the last five years from databases such as PubMed were

selected. These articles were analyzed for innovations in antibiotic development, the use of combination and adjuvant therapies, phage therapies, and the implementation of effective public health policies. The review of the six recent articles on antimicrobial resistance (AMR) highlights important advances in emerging strategies to combat this growing threat to global health. Nanoparticles (NPs), both synthetic and plant-based, emerge as promising tools in overcoming bacterial resistance, due to their ability to specifically target resistant pathogens. Phytochemicals have also shown efficacy, with the potential to reverse resistance and improve the efficacy of conventional antibiotics. The systematic

review reinforces the need for infection control practices and rational prescribing to prevent the spread of multidrug-resistant microbes in hospital settings. In addition, innovative strategies such as the use of postbiotics offer new perspectives in the treatment and prevention of resistant infections, with benefits in terms of safety and economic viability. However, the implementation of these strategies requires further research to confirm their efficacy on a large scale and ensure their safety for human use.

Keywords: Antimicrobial Resistance; Emerging Therapies; Public Health Policies.

1. INTRODUÇÃO

A resistência antimicrobiana (RAM) é uma das principais ameaças à saúde pública global no século XXI. Desde a descoberta dos antibióticos na década de 1920, essas substâncias revolucionaram a medicina, permitindo o tratamento eficaz de infecções que anteriormente eram fatais. No entanto, o uso excessivo e inadequado de antibióticos, tanto na medicina humana quanto na veterinária e na agricultura, resultou na seleção de cepas bacterianas resistentes, comprometendo a eficácia desses tratamentos. A Organização Mundial da Saúde (OMS) identificou a RAM como uma das dez maiores ameaças à saúde global, alertando que, se medidas efetivas não forem tomadas, as infecções resistentes a antibióticos poderão causar até 10 milhões de mortes anuais até 2050 (Tacconelli et al., 2018).

Bactérias resistentes, como *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA), *Escherichia coli* resistente a múltiplos fármacos e *Pseudomonas aeruginosa*, são exemplos de patógenos que têm causado um aumento na morbidade e mortalidade associadas a infecções hospitalares e comunitárias (Chinemerem Nwobodo et al., 2022). A disseminação de genes de resistência, muitas vezes facilitada por elementos genéticos móveis como plasmídeos, acelerou a propagação de resistência em várias espécies bacterianas. Esse cenário é exacerbado por lacunas no desenvolvimento de novos antibióticos, com poucos compostos novos entrando no mercado nos últimos anos, levando a um verdadeiro impasse no tratamento de infecções multirresistentes (Hegemann et al., 2023).

O impacto econômico da RAM também é significativo, com custos diretos e indiretos que afetam os sistemas de saúde e as economias globais. Estima-se que o custo associado ao tratamento de infecções resistentes e as perdas de produtividade devido à morbidade e

mortalidade elevadas criem um fardo econômico considerável (Tacconelli et al., 2018). Esse impacto ameaça reverter décadas de progresso médico, colocando em risco procedimentos comuns como cirurgias, transplantes de órgãos e tratamentos de câncer, que dependem da eficácia dos antibióticos para prevenir infecções.

Diante desse cenário alarmante, a necessidade de desenvolver novas abordagens terapêuticas tornou-se urgente. Além da busca contínua por novos antibióticos, diversas estratégias emergentes têm sido investigadas para combater a RAM. Entre essas estratégias, destacam-se o uso de nanopartículas, bacteriófagos, compostos derivados de plantas e pós-bióticos. Essas abordagens não apenas oferecem alternativas aos antibióticos tradicionais, mas também apresentam mecanismos de ação distintos que podem diminuir a pressão seletiva sobre as bactérias, retardando o desenvolvimento de resistência (Anand et al., 2022; Gupta et al., 2019; Sepordeh et al., 2024).

O uso de nanopartículas, por exemplo, tem mostrado resultados promissores na inibição de bactérias multirresistentes através de múltiplos mecanismos, como a geração de espécies reativas de oxigênio e a interrupção de membranas celulares bacterianas (Franci et al., 2015). Bacteriófagos, vírus que infectam e destroem bactérias, estão sendo revisados como uma solução específica para infecções causadas por patógenos resistentes, com estudos mostrando sua eficácia na degradação de biofilmes, que são frequentemente resistentes aos tratamentos convencionais (Abdelghafar et al., 2023). Além disso, compostos derivados de plantas e pós-bióticos oferecem alternativas naturais e potencialmente menos tóxicas, com efeitos antimicrobianos que podem ser aproveitados para complementar ou substituir os antibióticos convencionais (Savoia, 2012; Sepordeh et al., 2024).

Este trabalho tem como objetivo revisar e analisar criticamente as principais estratégias emergentes no combate à resistência antimicrobiana, explorando suas bases científicas, aplicações potenciais e desafios futuros. Ao focar em abordagens inovadoras e promissoras, espera-se fornecer uma visão abrangente do estado atual da pesquisa e das perspectivas futuras no tratamento de infecções multirresistentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRICO DA RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA

A resistência antimicrobiana não é um fenômeno recente. Relatos de resistência a antibióticos surgiram pouco tempo após a introdução da penicilina na década de 1940. A

descoberta de enzimas bacterianas capazes de inativar a penicilina, como as beta-lactamases, foi um dos primeiros sinais de alerta. Desde então, as bactérias têm desenvolvido uma variedade de mecanismos de resistência, incluindo a modificação de alvos, efluxo ativo de antibióticos e alteração das vias metabólicas. A disseminação de genes de resistência entre bactérias, facilitada por elementos genéticos móveis como plasmídeos, contribuiu para a rápida disseminação da resistência.

2.2. NANOPARTÍCULAS NO COMBATE À RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA

As nanopartículas metálicas, em particular as de prata, têm atraído significativa atenção devido às suas propriedades antibacterianas únicas. Segundo Gupta et al. (2019), as nanopartículas de prata atuam de múltiplas formas, incluindo a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que danificam componentes celulares essenciais, como DNA, proteínas e membranas lipídicas. Esta ação multifacetada reduz a probabilidade de que as bactérias desenvolvam resistência, já que múltiplos alvos são atacados simultaneamente.

Além disso, as nanopartículas podem ser funcionalizadas com moléculas bioativas para melhorar a sua especificidade e eficácia. Estudos têm demonstrado que a combinação de nanopartículas com antibióticos convencionais pode aumentar a sensibilidade bacteriana, permitindo o uso de doses menores de antibióticos e reduzindo assim o risco de desenvolvimento de resistência. Wang et al. (2020) enfatizam que, embora as nanopartículas representem uma promessa significativa, questões relacionadas à sua toxicidade e biodistribuição ainda precisam ser abordadas. Pesquisas futuras devem focar no desenvolvimento de nanopartículas biocompatíveis que mantenham suas propriedades antibacterianas sem efeitos adversos significativos para os tecidos humanos.

2.3. USO DE BACTERIÓFAGOS

Os bacteriófagos, ou simplesmente fagos, são uma solução inovadora e promissora para o problema da RAM. Os fagos são vírus que infectam exclusivamente bactérias, se replicam dentro delas e eventualmente as destroem. Essa característica faz deles uma ferramenta extremamente específica no combate a infecções bacterianas. O estudo de Abdelghafar et al. (2023) destacou um fago lítico que demonstrou uma atividade antibacteriana robusta contra *Pseudomonas aeruginosa*, uma bactéria conhecida por sua capacidade de formar biofilmes resistentes. Os biofilmes são agregados de bactérias envolvidos

em uma matriz extracelular que protege as células bacterianas dos antibióticos e do sistema imunológico.

A capacidade dos fagos de degradar biofilmes é uma das suas maiores vantagens sobre os antibióticos tradicionais. Biofilmes estão envolvidos em até 80% das infecções bacterianas crônicas, e a sua erradicação representa um dos maiores desafios no tratamento de infecções multirresistentes. No entanto, a terapia fágica enfrenta desafios, como a especificidade dos fagos para cepas bacterianas específicas e o desenvolvimento potencial de resistência bacteriana contra os fagos. Soluções propostas incluem o uso de coquetéis de fagos, que combinam múltiplos fagos para atacar diferentes alvos dentro de uma população bacteriana, e a engenharia genética de fagos para aumentar sua eficácia e espectro de ação.

2.4. COMPOSTOS DERIVADOS DE PLANTAS

As plantas têm sido uma fonte rica de compostos bioativos com propriedades antimicrobianas. Com o aumento da RAM, a busca por alternativas naturais aos antibióticos convencionais ganhou renovada atenção. Savoia (2012) revisou uma variedade de compostos derivados de plantas, incluindo alcaloides, terpenoides e fenóis, que têm demonstrado atividade contra uma ampla gama de patógenos. Esses compostos muitas vezes atuam em múltiplos alvos bacterianos, o que pode diminuir a probabilidade de desenvolvimento de resistência.

Uma vantagem significativa dos compostos vegetais é sua diversidade estrutural e funcional, que permite a modificação química para aumentar sua eficácia e reduzir a toxicidade. Além disso, Anand et al. (2022) destacam o potencial das nanopartículas vegetais, que combinam as propriedades bioativas dos compostos naturais com as vantagens das nanopartículas, como a liberação controlada e a penetração celular aprimorada. Estas nanopartículas podem ser projetadas para liberar compostos antimicrobianos de forma sustentada no local da infecção, aumentando a eficácia do tratamento.

Apesar de seu potencial, o uso de compostos vegetais enfrenta desafios relacionados à padronização, biodisponibilidade e segurança. A variabilidade na composição química dos extratos vegetais pode levar a inconsistências nos resultados terapêuticos. Portanto, pesquisas adicionais são necessárias para isolar e caracterizar os compostos ativos, bem como para desenvolver métodos de produção padronizados que garantam a consistência e eficácia do tratamento.

2.5. PÓS-BIÓTICOS

O conceito de pós-bióticos é relativamente novo, mas tem ganhado atenção como uma alternativa ou adjuvante aos antibióticos tradicionais. Pós-bióticos são produtos metabólicos inativos derivados de probióticos que possuem propriedades antimicrobianas, imunomoduladoras e anti-inflamatórias. Sepordeh et al. (2024) exploraram o potencial dos pós-bióticos na indústria alimentícia, onde podem ser utilizados para prevenir a contaminação bacteriana sem recorrer ao uso excessivo de antibióticos.

O uso de pós-bióticos oferece várias vantagens, incluindo a redução da resistência bacteriana e a promoção da saúde intestinal. Eles podem atuar diretamente sobre as bactérias patogênicas, inibindo seu crescimento, ou indiretamente, modulando a resposta imune do hospedeiro para combater infecções. Além disso, pós-bióticos podem ser utilizados em combinação com antibióticos para potencializar o efeito terapêutico e reduzir as doses necessárias de antibióticos, minimizando assim o risco de desenvolvimento de resistência.

No entanto, a pesquisa sobre pós-bióticos ainda está em suas fases iniciais, e muitos aspectos, como a identificação dos componentes ativos e a compreensão dos mecanismos de ação, ainda precisam ser explorados. Ensaios clínicos adicionais são necessários para validar a eficácia e a segurança dos pós-bióticos em diferentes contextos clínicos e industriais.

3. METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, a seleção dos artigos foi baseada em critérios específicos para garantir a relevância e a atualidade das informações. Os critérios de inclusão foram: Artigos publicados nos últimos cinco anos (2019-2024); Estudos publicados em revistas científicas revisadas por pares; Pesquisas focadas em estratégias emergentes para combater a resistência antimicrobiana; Artigos disponíveis em bases de dados reconhecidas, como PubMed.

A busca foi realizada utilizando palavras-chave como "resistência antimicrobiana", "novos antibióticos", "terapias combinadas", "compostos antimicrobianos de plantas", "bacteriófagos" e "biotecnologias". Foram incluídos apenas artigos em inglês e português.

A pesquisa inicial resultou em um total de 1087 artigos. Após a leitura dos títulos e resumos, 50 artigos foram selecionados para uma leitura completa com base na sua relevância para o tema. Destes, 6 artigos foram escolhidos para compor a revisão, por apresentarem contribuições significativas e dados relevantes.

Cada artigo foi analisado em termos de objetivos, metodologia, resultados e conclusões. As informações extraídas dos artigos foram sintetizadas para identificar tendências e padrões nas estratégias emergentes para combater a resistência antimicrobiana.

4. RESULTADOS

Os resultados desta revisão bibliográfica destacam avanços significativos no combate à resistência antimicrobiana (RAM) através de diversas estratégias emergentes. A seguir, estão detalhados os 6 artigos relevantes publicados nos últimos cinco anos no PubMed:

4.1. COMBATER BACTÉRIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS COM RECURSO A NANOMATERIAIS

O artigo publicado por Gupta et al. (2019) aborda que o aumento dramático da resistência antimicrobiana às bactérias patogênicas constitui uma ameaça fundamental para a saúde humana. Os Centros de Controle e Prevenção de Doenças declararam recentemente que o mundo está prestes a entrar na "era pós-antibiótica", em que mais pessoas morrerão de infecções bacterianas do que de câncer. Recentemente, as nanopartículas (NPs) surgiram como novas ferramentas que podem ser usadas para combater infecções bacterianas mortais. As estratégias baseadas em nanopartículas podem superar as barreiras enfrentadas pelos antimicrobianos tradicionais, incluindo a resistência a antibióticos. Nesta revisão do tutorial, os autores destacam várias abordagens baseadas em nanopartículas para eliminar infecções bacterianas, fornecendo informações cruciais sobre o design de elementos que desempenham papéis críticos na criação de nanoterapêuticos antimicrobianos. Em particular, concentra-se no papel central desempenhado pela funcionalidade NP-surface na concepção de nanomateriais como agentes autoterapêuticos e veículos de entrega de carga antimicrobiana.

4.2. REVISÃO SOBRE ANTIMICROBIANOS VEGETAIS: UM PONTO DE VISTA MECANICISTA

O artigo, escrito por Khameneh et al. (2019), também destaca que a resistência microbiana aos antibióticos clássicos e sua rápida progressão levantaram sérias preocupações no tratamento de doenças infecciosas. Recentemente, muitos estudos têm sido direcionados para encontrar soluções promissoras para superar esses problemas. Para os autores, os fitoquímicos têm exercido potenciais atividades antibacterianas contra patógenos sensíveis e resistentes por meio de diferentes mecanismos de ação. Nesta revisão, os autores resumiram

os principais mecanismos de resistência a antibióticos de bactérias e também discutem como os fitoquímicos pertencentes a diferentes classes químicas podem reverter a resistência aos antibióticos. Além de conter atividades antimicrobianas diretas, algumas delas exerceram efeitos sinérgicos in vitro quando combinadas com antibióticos convencionais. Considerando esses fatos, os autores afirmam que os fitoquímicos representam uma fonte valiosa de compostos bioativos com potentes atividades antimicrobianas.

4.3. NANOPARTÍCULAS À BASE DE PLANTAS MAIS SEGURAS PARA COMBATER A RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS EM BACTÉRIAS: UMA REVISÃO ABRANGENTE SOBRE SUAS APLICAÇÕES POTENCIAIS, AVANÇOS RECENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste artigo, Anand et al. (2022) aborda que as nanopartículas surgiram como novas ferramentas que podem ser usadas para combater infecções bacterianas mortais direta ou indiretamente para superar a resistência aos antibióticos. Embora as nanopartículas estejam sendo usadas na indústria farmacêutica, há uma preocupação constante com sua toxicidade para a saúde humana devido ao envolvimento de produtos químicos tóxicos bem conhecidos (ou seja, borohidreto de sódio / potássio), tornando seu uso muito arriscado para células eucarióticas. Contudo, segundo os autores, várias abordagens baseadas em nanopartículas para combater infecções bacterianas, fornecendo informações cruciais sobre o design de elementos que desempenham papéis críticos na criação de medicamentos nanoterapêuticos antimicrobianos, estão atualmente em andamento. Nesse contexto, as nanopartículas à base de plantas serão menos tóxicas do que muitas outras formas, que constituem candidatas promissoras para evitar danos generalizados ao microbioma associados às práticas atuais. Este artigo teve como objetivo revisar o conhecimento real sobre produtos de nanopartículas à base de plantas para resistência a antibióticos e a possível substituição de antibióticos para tratar infecções bacterianas multirresistentes.

4.4. UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS TENDÊNCIAS DE RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS E OPÇÕES DE TRATAMENTO PARA INFECÇÕES MULTIRRESISTENTES ADQUIRIDAS EM HOSPITAIS

O artigo, escrito por Agyeman et al. (2022), destaca que os micróbios resistentes a medicamentos contribuem significativamente para a morbidade e mortalidade no hospital, especialmente na unidade de terapia intensiva. A etiologia primária do aumento da resistência

aos antibióticos é o uso inadequado e excessivo de antibióticos em todo o mundo que ameaça corroer nossa capacidade de tratar infecções com nosso atual arsenal de antibióticos. Para os autores, o ritmo de desenvolvimento de novos antibióticos pela indústria farmacêutica não acompanhou o aumento da resistência para expandir nossas opções para tratar infecções microbianas. Portanto, esta revisão resume os mecanismos, tendências e opções de tratamento comuns para micróbios multirresistentes adquiridos em hospitais.

4.5. ESTRATÉGIAS DE COMBATE À RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS E DESENVOLVIMENTOS (PRÉ) CLÍNICOS PARA ENCONTRAR NOVOS ANTIBACTERIANOS

Neste artigo, Walesch et al. (2023) critica que o desenvolvimento de novas terapias contra patógenos bacterianos diminuiu drasticamente desde as aprovações dos primeiros antibióticos no início e meados de 20ésimo século. A maioria dos medicamentos atualmente investigados são modificações de antibacterianos aprovados, muitos dos quais são derivados de produtos naturais. Nesta revisão, os autores destacam os desafios, avanços e posição atual do pipeline de pesquisa antibacteriana clínica e pré-clínica. Além disso, apresentam novas estratégias para rejuvenescer o processo de descoberta e defendemos um investimento renovado e entusiasmado no pipeline de descoberta de antibacterianos.

4.6. PÓS-BIÓTICO COMO NOVO AGENTE ALTERNATIVO OU ADJUVANTE PARA O ANTIBIÓTICO COMUM UTILIZADO NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

O artigo, de Sepordeh et al. (2024), tem foco nos numerosos metabólitos pós-bióticos formados a partir dos microrganismos intestinais benéficos, suas potenciais ações antimicrobianas e os recentes avanços associados nas áreas alimentícia e médica, esta revisão apresenta uma visão geral das formas emergentes de prevenir a resistência aos antibióticos. Segundo os autores, atualmente, a literatura científica confirma que antimicrobianos derivados de plantas, terapia de RNA, transplante de microbiota fecal, vacinas, nanoantibióticos, hemofiltração, bactérias predadoras, imunoterapêuticos, inibidores de quorum-sensing, terapias fágicas e probióticos podem ser considerados candidatos a antibióticos naturais e eficientes. As investigações sobre cepas probióticas apropriadas levaram à caracterização de subprodutos metabólicos específicos de probióticos denominados pós-bióticos. Com base em estudos pré-clínicos e clínicos, os pós-bióticos com suas características únicas em termos de aspectos clínicos (origem segura, sem a disseminação

potencial de genes de resistência a antibióticos, mecanismos de ação antimicrobiana únicos e múltiplos), tecnológicos (estabilidade e viabilidade de produção em larga escala) e econômicos (baixos custos de produção) podem ser usados como um novo agente alternativo ou adjuvante para os antibióticos comuns utilizados na produção de alimentos de origem animal. Portanto, os autores concluem que os constituintes pós-bióticos podem ser uma nova abordagem para utilização nos setores farmacêutico e alimentício para o desenvolvimento de tratamentos terapêuticos. Mais investigações metabolômicas são necessárias para descrever novos pós-bióticos e ensaios clínicos também são necessários para definir a dose suficiente e a frequência ideal de administração de pós-bióticos.

5. DISCUSSÃO

A revisão dos 6 artigos selecionados revela uma diversidade de abordagens emergentes para combater a resistência antimicrobiana (RAM), destacando avanços significativos tanto no desenvolvimento de novos tratamentos quanto na implementação de políticas de saúde pública.

Primeiramente, o uso de nanopartículas (NPs) na medicina tem sido amplamente explorado como uma forma de superar a resistência bacteriana, como destacado por Gupta et al. (2019). Estudos adicionais corroboram essa abordagem, sugerindo que NPs podem ser carregadas com agentes antimicrobianos para atingir especificamente células bacterianas resistentes, minimizando os efeitos colaterais sobre as células humanas (Wang et al., 2020). Além disso, o uso de NPs à base de plantas, como discutido por Anand et al. (2022), se alinha com a crescente tendência de explorar fontes naturais para o desenvolvimento de novas terapias, com menor toxicidade e maior eficiência.

Os fitoquímicos, abordados por Khameneh et al. (2019), também ganham destaque como alternativas viáveis. Eles podem não apenas ter efeitos antimicrobianos diretos, mas também potencializar a eficácia de antibióticos tradicionais, combatendo a resistência (Savoia, 2012). No entanto, é crucial considerar que, embora promissores, os estudos clínicos e a padronização de tais compostos são essenciais para sua aplicação prática em larga escala.

A revisão sistemática de Agyeman et al. (2022) sobre infecções hospitalares multirresistentes destaca a importância de práticas de controle de infecções e da prescrição racional de antibióticos para evitar o desenvolvimento de resistência, conforme também discutido em estudos anteriores (Tacconelli et al., 2018).

Por fim, a pesquisa sobre pós-bióticos, conforme descrito por Seporkeh et al. (2024), aponta para uma nova fronteira na medicina preventiva e terapêutica. No entanto, como em outras abordagens inovadoras, são necessárias mais pesquisas para entender plenamente seu potencial e limitações (Wegh et al., 2019).

Além disso, vale destacar que existem terapias alternativas como a terapia com fagos, discutida por Abdelghafar et al. (2023), caracterizando-se como uma alternativa promissora. Os fagos, que são vírus específicos para bactérias, podem atacar e destruir patógenos resistentes, oferecendo uma solução potencialmente eficaz e específica. A engenharia de fagos para aumentar sua eficácia e segurança é um campo de pesquisa ativo que pode fornecer novas armas na luta contra a RAM.

6. CONCLUSÃO

Os estudos revisados indicam que a luta contra a resistência antimicrobiana está progredindo através de abordagens inovadoras, como nanopartículas e pós-bióticos. No entanto, ainda existem desafios significativos na implementação dessas estratégias, incluindo a necessidade de mais pesquisas clínicas e pré-clínicas. A colaboração contínua entre pesquisadores, profissionais de saúde e a indústria farmacêutica será essencial para enfrentar eficazmente a RAM. Ao combinar essas novas abordagens com práticas de controle de infecções e o uso racional de antibióticos, podemos avançar na mitigação desse problema de saúde global.

REFERÊNCIAS

AGYEMAN WY, BISHT A, GOPINATH A, CHEEMA AH, CHALUDIYA K, KHALID M, NWOSU M, KONKA S, KHAN S. Uma revisão sistemática das tendências de resistência a antibióticos e opções de tratamento para infecções multirresistentes adquiridas em hospitais. *Cureus*. 5 de outubro de 2022; 14(10):e29956. DOI: 10.7759/cureus.29956. PMID: 36381838; PMCID: PMC9635809.

ABDELGHAFAR A, EL-GANINY A, SHAKER G, ASKOURA M. Um novo fago lítico exibindo um notável potencial terapêutico in vivo e maior atividade antibiofilme contra *Pseudomonas aeruginosa*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2023 outubro; 42(10):1207-1234. DOI: 10.1007/S10096-023-04649-Y. Epub 2023 23 de agosto. PMID: 37608144; PMCID: PMC10511388.

ANAND U, CARPENA M, KOWALSKA-GÓRALSKA M, GARCIA-PEREZ P, SUNITA K, BONTEMPI E, DEY A, PRIETO MA, PROĆKÓW J, SIMAL-GANDARA J. Nanopartículas vegetais mais seguras para combater a resistência a antibióticos em bactérias: uma revisão abrangente sobre suas aplicações potenciais, avanços recentes e perspectivas futuras.

Sci Ambiente Total. 15 de maio de 2022;821:153472. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153472. Epub 2022 29 de janeiro. Errata em: Sci Total Environ. 25 de fevereiro de 2024;913:169799. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169799. PMID: 35093375.

CHINEMEREM NWOBODO D, UGWU MC, OLISELOKE ANIE C, AL-OUQAILI MTS, CHINEDU IKEM J, VICTOR CHIGOZIE U, SAKI M. Resistência a antibióticos: os desafios e algumas estratégias emergentes para enfrentar uma ameaça global. J Clin Lab Anal. 2022 setembro; 36(9):e24655. DOI: 10.1002/jcla.24655. Epub 2022 10 de agosto. PMID: 35949048; PMCID: PMC9459344.

FRANCI, G., FALANGA, A., GALDIERO, S., PALOMBA, L., RAI, M., MORELLI, G., & GALDIERO, M. (2015). Silver nanoparticles as potential antibacterial agents. *Molecules*, 20(5), 8856-8874.

GUPTA A , MUMTAZ S , LI CH , HUSSAIN I , ROTELLO VM . Combatting antibiotic-resistant bacteria using nanomaterials. *Chem Soc Rev*. 2019 Jan 21;48(2):415-427. doi: 10.1039/c7cs00748e. PMID: 30462112; PMCID: PMC6340759.

HEGEMANN JD, BIRKELBACH J, WALESCH S, MÜLLER R. Desenvolvimentos atuais na descoberta de antibióticos: diversidade microbiana global como fonte de antibacterianos otimizados evolutivamente: diversidade microbiana global como fonte de antibacterianos otimizados evolutivamente. *EMBO Rep*. 2023 9 de janeiro; 24(1):e56184. DOI: 10.15252/embr.202256184. Epub 2022 21 de dezembro. PMID: 36541849; PMCID: PMC9827545.

KHAMENEH B, IRANSHAHY M, SOHEILI V, FAZLY BAZZAZ BS. *Antimicrob Resist Infect Control*. 16 de julho de 2019;8:118. DOI: 10.1186/S13756-019-0559-6. PMID: 31346459; PMCID: PMC6636059.

SAVOIA, D. (2012). Plant-derived antimicrobial compounds: alternatives to antibiotics. *Future Microbiology*, 7(8), 979-990.

SEPORDEH S, JAFARI AM, BAZZAZ S, ABBASI A, ASLANI R, HOUSHMANDI S, RAD AH. Pós-biótico como novo agente alternativo ou adjuvante para o antibiótico comum utilizado na indústria alimentícia. *Curr Pharm Biotechnol*. 2024; 25(10):1245-1263. DOI: 10.2174/1389201025666230912123849. PMID: 37702234.

TACCONELLI, E., CARRARA, E., SAVOLDI, A., HARBARTH, S., MENDELSON, M., MONNET, D. L., ... & MAGRINI, N. (2018). Discovery, research, and development of new antibiotics: the WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria and tuberculosis. *The Lancet Infectious Diseases*, 18 (3), 318-327.

WALESCH S, BIRKELBACH J, JÉZÉQUEL G, HAECKL FPJ, HEGEMANN JD, HESTERKAMP T, HIRSCH AKH, HAMMANN P, MÜLLER R. Estratégias de combate à resistência a antibióticos e desenvolvimentos (pré) clínicos para encontrar novos antibacterianos. *EMBO Rep*. 2023 9 de janeiro; 24(1):e56033. DOI: 10.15252/embr.202256033. Epub 2022 19 de dezembro. PMID: 36533629; PMCID: PMC9827564.

- WANG, L., HU, C., & SHAO, L. (2020). The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 1227-1249.
- WEGH, C. A. M., GEERLINGS, S. Y., KNOL, J., ROESELERS, G., & BELZER, C. (2019). Postbiotics and their potential applications in early life nutrition and beyond. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (19), 4673.

CAPÍTULO XIV

A IMUNIDADE INATA VERSUS IMUNIDADE ADAPTATIVA: INTERAÇÕES E IMPACTO NA RESPOSTA IMUNOLÓGICA

INNATE IMMUNITY VERSUS ADAPTIVE IMMUNITY: INTERACTIONS AND IMPACT ON IMMUNE RESPONSE

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-14

Jéssica da Cruz Chagas¹

Rafael de Lima Erazo²

João Antônio dos Santos Monteiro³

Maik Ximenes Guedes Junior⁴

Alessandra Rodrigues Marques⁵

Sabrina Monteiro Rocha⁶

¹ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

² Doutor em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amazonas – UFAM

³ Especialista em Ensino de Ciências. Instituto Federal do Amazonas – IFAM

⁴ Graduado em Biomedicina. Centro Universitário e Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO

⁵ Especialista em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica. Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

⁶ Graduada em Ciências Biológicas. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

RESUMO

A imunidade inata e a imunidade adaptativa são duas frentes complementares do sistema imunológico que trabalham em sinergia para proteger o organismo contra patógenos. A imunidade inata, a primeira linha de defesa, é rápida e não específica, envolvendo barreiras físicas e componentes celulares, como macrófagos e neutrófilos. Em contraste, a imunidade adaptativa é mais lenta e específica, envolvendo linfócitos T e B que reconhecem e respondem a antígenos específicos. Para investigar essas interações e seu impacto na resposta imunológica, foi adotada uma abordagem de revisão bibliográfica sistemática. A pesquisa foi realizada na base de dados PubMed, com critérios de inclusão que englobaram estudos revisados por pares dos últimos 20 anos, disponíveis em inglês, português ou espanhol, e focados na interação entre imunidade inata e adaptativa. A estratégia de busca incluiu termos MeSH e combinações de palavras-chave relacionadas. A seleção e análise dos estudos seguiram um rigoroso processo de triagem e avaliação da qualidade metodológica, e os dados foram sintetizados qualitativamente para identificar padrões e lacunas. A revisão sistemática revelou que a interação entre imunidade inata e adaptativa é crucial para uma

resposta imunológica eficaz. A imunidade inata fornece uma resposta inicial e ampla, enquanto a adaptativa oferece uma defesa específica e de memória. A colaboração entre esses sistemas assegura uma resposta coordenada e robusta contra patógenos. As implicações clínicas das descobertas destacam a necessidade de mais pesquisas para explorar as complexidades dessas interações e suas aplicações em doenças infecciosas e autoimunes.

Palavras-chave: Imunidade Inata. Imunidade Adaptativa. Interações Imunes.

ABSTRACT

Innate immunity and adaptive immunity are two complementary arms of the immune system that work in synergy to protect the organism against pathogens. Innate immunity, the first line of defense, is rapid and non-specific, involving physical barriers and cellular components such as macrophages and neutrophils. In contrast, adaptive immunity is slower and specific, involving T and B lymphocytes that recognize and respond to specific antigens. To investigate these interactions and their impact on the immune response, a systematic literature review approach was adopted. The



research was conducted using the PubMed database, with inclusion criteria encompassing peer-reviewed studies from the past 20 years, available in English, Portuguese, or Spanish, and focusing on the interaction between innate and adaptive immunity. The search strategy included MeSH terms and related keyword combinations. The selection and analysis of studies followed a rigorous process of screening and methodological quality assessment, and data were qualitatively synthesized to identify patterns and gaps. The systematic review revealed that the interaction between innate and adaptive immunity is crucial for

an effective immune response. Innate immunity provides an initial and broad response, while adaptive immunity offers a specific and long-lasting defense. The collaboration between these systems ensures a coordinated and robust response against pathogens. Clinical implications of the findings underscore the need for further research to explore the complexities of these interactions and their applications in infectious and autoimmune diseases.

Keywords: Innate Immunity. Adaptive Immunity. Immune Interactions.

1. INTRODUÇÃO

O sistema imunológico é uma rede complexa e dinâmica de células, tecidos e órgãos que trabalham em conjunto para defender o organismo contra invasores externos, como bactérias, vírus, fungos e parasitas, bem como contra células anormais ou cancerosas (Janeway et al., 2001). A imunidade, ou a capacidade do corpo de resistir a essas ameaças, é tradicionalmente dividida em duas categorias principais: imunidade inata e imunidade adaptativa (Murphy et al., 2012).

A imunidade inata é a primeira linha de defesa do organismo e está presente desde o nascimento. Esta resposta imunológica é rápida e não específica, significando que ela reage de maneira similar a uma ampla gama de patógenos (Medzhitov & Janeway, 2000). Componentes chave da imunidade inata incluem barreiras físicas, como a pele e mucosas, bem como células e moléculas, como fagócitos (macrófagos e neutrófilos), células NK (natural killer), e proteínas do sistema complemento (Murphy et al., 2012).

As células da imunidade inata reconhecem padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs) e padrões moleculares associados a danos (DAMPs) através de receptores de reconhecimento de padrão (PRRs), como os receptores Toll-like (TLRs) (Akira et al., 2006). Esta capacidade de reconhecimento rápido permite que o sistema imunológico inato reaja em minutos a horas após a infecção inicial, desempenhando um papel crucial na contenção precoce de patógenos e na ativação subsequente da imunidade adaptativa (Kumar et al., 2011).

Os fagócitos, como os macrófagos e neutrófilos, engolfam e destroem patógenos através de processos como fagocitose e produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Nathan, 2006). As células NK desempenham um papel crítico na destruição de células

infectadas por vírus e células tumorais através da liberação de perforinas e granzimas que induzem apoptose (Vivier et al., 2011). Além disso, o sistema complemento, um conjunto de proteínas séricas, pode ser ativado por três vias principais (clássica, alternativa e lectina) e resulta na opsonização de patógenos, recrutamento de células inflamatórias e lise de patógenos através do complexo de ataque à membrana (Janeway et al., 2001).

A imunidade adaptativa, por outro lado, é altamente específica e capaz de formar memória imunológica. Essa resposta imunológica é mediada principalmente por linfócitos T e B, que, ao contrário das células inatas, possuem receptores altamente diversificados que reconhecem antígenos específicos (Murphy et al., 2012). A ativação da imunidade adaptativa é um processo mais lento, tipicamente levando dias para se desenvolver após a exposição inicial ao antígeno.

Os linfócitos T são divididos em duas principais subpopulações: células T auxiliares (CD4+) e células T citotóxicas (CD8+). As células T auxiliares ajudam a ativar outras células imunológicas, incluindo linfócitos B, que produzem anticorpos, e macrófagos, que fagocitam patógenos (Zhu et al., 2010). As células T citotóxicas, por sua vez, são responsáveis pela destruição direta de células infectadas por vírus ou transformadas cancerosamente (Harty et al., 2000).

A formação de memória imunológica é uma característica distintiva da imunidade adaptativa, permitindo que o organismo responda mais rapidamente e com maior eficácia a exposições subsequentes ao mesmo patógeno (Ahmed & Gray, 1996). Este princípio é a base para a eficácia das vacinas, que estimulam uma resposta imunológica adaptativa sem causar a doença (Plotkin, 2005). Os linfócitos B, ao se diferenciarem em células plasmáticas, secretam anticorpos específicos que neutralizam patógenos e facilitam sua eliminação por outros mecanismos imunológicos (Borghesi & Milcarek, 2007).

Embora a imunidade inata e adaptativa seja frequentemente discutida como entidades separadas, elas estão intimamente interligadas e colaboram para montar uma resposta imunológica eficaz. A ativação inicial do sistema imunológico inato é crucial para a ativação subsequente da imunidade adaptativa (Iwasaki & Medzhitov, 2015). As células dendríticas, por exemplo, capturam antígenos e migram para os linfonodos, onde apresentam esses antígenos aos linfócitos T, facilitando sua ativação (Banchereau & Steinman, 1998).

Além disso, produtos da ativação do sistema inato, como citocinas e quimiocinas, modulam a resposta adaptativa, influenciando a diferenciação e a função dos linfócitos T e B

(Iwasaki & Medzhitov, 2015). Por exemplo, a produção de interleucina-12 (IL-12) pelas células dendríticas pode promover a diferenciação de células T auxiliares em células Th1, que são eficazes contra infecções intracelulares (Trinchieri, 2003). De maneira similar, citocinas como IL-4 e IL-5 promovem a diferenciação de células T auxiliares em células Th2, que são importantes para respostas contra parasitas extracelulares (Paul & Seder, 1994).

A interação entre imunidade inata e adaptativa não só garante uma defesa robusta contra patógenos, mas também é essencial para a manutenção da homeostase imunológica e a prevenção de doenças autoimunes (Chaplin, 2010). Deficiências ou disfunções em qualquer um desses braços do sistema imunológico pode levar a uma variedade de doenças. Por exemplo, defeitos na imunidade inata podem resultar em infecções recorrentes e severas, enquanto falhas na imunidade adaptativa podem resultar em uma incapacidade de formar memória imunológica ou em doenças autoimunes (Parkin & Cohen, 2001).

Nos últimos anos, avanços significativos foram feitos na compreensão das interações entre a imunidade inata e adaptativa. Tecnologias de sequenciamento de nova geração e abordagens de biologia de sistemas têm permitido uma visão mais detalhada das complexas redes de sinalização que governam a resposta imunológica (Pulendran & Davis, 2020). Estudos recentes têm explorado novas terapias imunológicas, como imunoterapias baseadas em células T e inibidores de pontos de verificação imunológicos, que dependem da modulação dessas interações para tratar doenças como câncer e infecções crônicas (Sharma & Allison, 2015).

Além disso, a pesquisa contínua em imunologia está revelando novos tipos de células e moléculas envolvidas na resposta imunológica, oferecendo potenciais novos alvos terapêuticos (Spitzer et al., 2017). A compreensão aprofundada das interações entre a imunidade inata e adaptativa é crucial para o desenvolvimento de novas vacinas e tratamentos para uma variedade de doenças infecciosas e não infecciosas.

A distinção e a interdependência entre a imunidade inata e adaptativa representam um dos conceitos centrais da imunologia moderna. A imunidade inata fornece uma resposta rápida e inicial contra patógenos, enquanto a imunidade adaptativa oferece uma defesa mais específica e de longo prazo. As interações entre esses dois sistemas são essenciais para uma resposta imunológica eficaz e para a manutenção da saúde do organismo. Com os avanços contínuos na pesquisa imunológica, o futuro promete novas descobertas e terapias que podem melhorar significativamente a capacidade de tratar e prevenir doenças.

Assim, o objetivo deste trabalho é comparar e contrastar a imunidade inata e adaptativa, destacando suas interações e o impacto dessas interações na resposta imunológica. Examinar como esses dois braços do sistema imunológico trabalham juntos para proteger o organismo contra patógenos.

2. METODOLOGIA

Para investigar as interações entre a imunidade inata e adaptativa e seu impacto na resposta imunológica, adotou-se uma abordagem de revisão bibliográfica sistemática. Este método envolve a identificação, seleção, avaliação e síntese de estudos relevantes publicados em bases de dados científicas.

Primeiramente, a fonte de dados utilizada para a coleta dos artigos foi o PubMed, devido à sua abrangência e relevância na área da imunologia. Os critérios de inclusão definidos para a seleção dos artigos foram: estudos publicados em periódicos revisados por pares nos últimos 20 anos (2004-2024), artigos disponíveis em inglês, português ou espanhol, e que abordem as interações entre a imunidade inata e adaptativa, bem como o impacto dessas interações na resposta imunológica. Estudos que não fossem revisados por pares, que apresentassem dados insuficientes ou metodologia inadequada, bem como relatos de caso, editoriais, cartas ao editor e revisões não sistemáticas, foram excluídos.

A estratégia de busca envolveu o uso de combinações de palavras-chave e termos MeSH (Medical Subject Headings) para garantir a abrangência da busca. Os principais termos utilizados incluíram “Innate immunity”, “Adaptive immunity”, “Immune response”, “Interaction”, “Cross-talk”, “Cytokines”, “Dendritic cells”, “Lymphocytes” e “Pathogens”. Um exemplo de string de busca usada no PubMed foi: ("innate immunity" AND "adaptive immunity" AND "interaction" AND "immune response") OR ("cytokines" AND "dendritic cells" AND "lymphocytes" AND "pathogens").

O processo de seleção dos estudos começou com uma triagem inicial baseada no título e resumo dos artigos identificados pela busca. Estudos irrelevantes foram excluídos nesta etapa. Os artigos potencialmente relevantes foram então obtidos em texto completo para uma avaliação mais detalhada. A qualidade metodológica dos estudos selecionados foi avaliada usando uma adaptação da ferramenta CASP (Critical Appraisal Skills Programme), considerando aspectos como a clareza dos objetivos e hipóteses, adequação do desenho do

estudo e métodos, validade e confiabilidade dos resultados, e a discussão e interpretação dos achados.

Para a síntese dos dados, foram extraídas informações bibliográficas de cada estudo, incluindo autor, ano, título e periódico, além dos objetivos e hipóteses do estudo, metodologia e desenho do estudo, principais achados e resultados, e conclusões e implicações dos achados. A análise dos dados extraídos foi qualitativa, visando identificar temas recorrentes, padrões e lacunas na literatura. A análise foi estruturada em torno de tópicos principais, como os mecanismos de interação entre a imunidade inata e adaptativa, o papel das células dendríticas na mediação da resposta adaptativa, o impacto das citocinas na comunicação entre imunidade inata e adaptativa, e as implicações clínicas das interações imunes em doenças infecciosas e autoimunes.

Os achados da revisão foram discutidos em termos de suas contribuições para a compreensão das interações entre a imunidade inata e adaptativa. As implicações clínicas e futuras direções de pesquisa foram abordadas com base nas evidências sintetizadas. Por fim, as limitações da revisão foram identificadas e discutidas, incluindo possíveis vieses na seleção dos estudos, a abrangência das bases de dados utilizadas e a variabilidade na qualidade dos estudos incluídos.

Assim, esta metodologia detalha um processo sistemático e rigoroso para conduzir uma revisão bibliográfica sobre as interações entre a imunidade inata e adaptativa e seu impacto na resposta imunológica, fornecendo uma base sólida para a compreensão desses complexos processos imunológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os mais de 42 mil artigos disponíveis, para a revisão bibliográfica, foram selecionados cinco artigos relevantes que exploram a intersecção entre a imunidade inata e adaptativa, as respostas imunológicas e a comunicação entre células do sistema imunológico (Quadro 1). Esses estudos fornecem uma base sólida para compreender como a comunicação entre a imunidade inata e adaptativa é fundamental para uma resposta imunológica eficaz, especialmente no contexto da apresentação de antígenos e da interação entre células dendríticas e linfócitos T.

Quadro 1: Artigos selecionados.

| Estudo | Autores | Ano | Resumo |
|--|---|------|--|
| Antigen processing and presentation | Fiorella Kotsias, Ignacio Cebrian, Andrés Alloatti | 2019 | Este artigo fornece uma visão abrangente dos mecanismos celulares e moleculares envolvidos no processamento e apresentação de antígenos pelas células dendríticas. O foco é na forma como essas células capturam, processam e apresentam antígenos aos linfócitos T, e a importância dessa interação para a ativação e modulação da resposta imune adaptativa. |
| Dendritic cells and the control of immunity | Steinman | 2001 | Steinman discute o papel das células dendríticas como reguladoras centrais da imunidade. O artigo destaca como essas células não apenas apresentam antígenos, mas também modulam a resposta imune adaptativa, aumentando a eficiência da apresentação de antígenos e ajustando as respostas imunes para melhor proteger o organismo. |
| Antigen presentation and T cell stimulation by dendritic cells | Pierre Guermonprez, Jenny Valladeau, Laurence Zitvogel, Clotilde Théry, Sebastian Amigorena | 2002 | Guermonprez e colegas analisam a função das células dendríticas na estimulação das células T. O artigo detalha os diferentes tipos de antígenos e como eles são apresentados pelas células dendríticas, influenciando a resposta imune. É uma exploração detalhada de como as interações entre células dendríticas e linfócitos T são fundamentais para a resposta imune. |
| The cell biology of antigen presentation in dendritic cells | Théry e Amigorena. | 2001 | O estudo investiga a biologia celular das células dendríticas, com foco em como elas processam e apresentam antígenos. O artigo examina os mecanismos celulares que permitem uma interação eficaz entre as células dendríticas e os linfócitos T, explorando as características e processos celulares envolvidos na apresentação de antígenos. |
| Comprehensive analysis of the interaction of antigen presentation during anti-tumour immunity and establishment of AIDPS systems in ovarian cancer | Wenhuizi Sol, Ping Xu, Kefei Gao, Wenqin Lian, Xiang Sol | 2024 | Os autores exploram a apresentação de antígenos no contexto da imunidade antitumoral, com um foco específico no câncer de ovário. O artigo analisa como a apresentação de antígenos pode influenciar a resposta imune contra tumores e discute a criação de sistemas de AIDPS (Antigen Presentation and Immune Design for Personalized Solutions) para melhorar as terapias contra o câncer. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses artigos fornecem uma visão detalhada sobre a função e a importância das células dendríticas na apresentação de antígenos e na modulação da resposta imune, com ênfase em como essas interações afetam tanto a imunidade adaptativa quanto as estratégias terapêuticas contra o câncer.

A discussão dos artigos revisados revela uma profunda compreensão dos mecanismos de apresentação de antígenos pelas células dendríticas (DCs) e sua influência na resposta imune adaptativa. A metodologia aplicada nos estudos foi rigorosa, envolvendo técnicas avançadas de biologia celular e molecular para desvendar os processos subjacentes à captura, processamento e apresentação de antígenos.

O artigo "*Antigen processing and presentation*" (2019) utiliza abordagens experimentais para detalhar os mecanismos celulares e moleculares que sustentam o processamento e a apresentação de antígenos pelas DCs. Este estudo destaca a eficiência das DCs em processar antígenos e apresentá-los aos linfócitos T, evidenciando a importância dessa interação para a resposta imune adaptativa. Os resultados mostram que as DCs são capazes de reconhecer uma ampla gama de patógenos, processá-los e apresentá-los de maneira que ativa efetivamente as células T, desencadeando uma resposta imune específica e robusta.

No estudo de Steinman, "*Dendritic cells and the control of immunity*" (2001), a metodologia incluiu a utilização de modelos animais e técnicas de imunohistoquímica para explorar como as DCs modulam a resposta imune adaptativa. Steinman demonstrou que as DCs não apenas apresentam antígenos, mas também regulam a natureza da resposta imune, influenciando se a resposta será mais humoral ou celular. Os resultados deste estudo foram pioneiros em mostrar que as DCs são controladoras centrais da imunidade, modulando a resposta imune por meio da produção de citocinas e da interação com diferentes subtipos de células T.

Guermonprez e colegas, em "*Antigen presentation and T cell stimulation by dendritic cells*" (2002), focaram em como diferentes tipos de antígenos são apresentados pelas DCs e como essa apresentação influencia a ativação das células T. A metodologia envolveu ensaios de apresentação cruzada, onde antígenos extracelulares são apresentados em moléculas de MHC de classe I, crucial para a ativação de células T citotóxicas. Os resultados mostram que as DCs desempenham um papel crucial na defesa contra infecções virais e tumores, evidenciando a versatilidade e importância dessas células na imunidade adaptativa.

"*The cell biology of antigen presentation in dendritic cells*" (2001), por Théry e Amigorena, abordou os aspectos celulares da apresentação de antígenos em DCs. Utilizando técnicas de microscopia avançada e ensaios bioquímicos, os autores discutem como as DCs internalizam, processam e apresentam antígenos. Os resultados deste estudo forneceram insights fundamentais sobre os processos intracelulares que permitem às DCs interagir

eficazmente com os linfócitos T, destacando a importância da biologia celular na mediação de respostas imunes eficazes.

O artigo mais recente, "*Comprehensive analysis of the interaction of antigen presentation during anti-tumour immunity and establishment of AIDPS systems in ovarian cancer*" (2024) de Sol e colaboradores, investigou a apresentação de antígenos no contexto da imunidade antitumoral. Utilizando modelos de câncer de ovário, o estudo explorou como a modulação dos sistemas de interação de apresentação de antígenos (AIDPS) pode melhorar a eficácia das terapias antitumorais. Os resultados sugerem que a manipulação da apresentação de antígenos pelas DCs pode aumentar a resposta imune contra tumores, destacando a relevância clínica das DCs na imunoterapia.

Em conclusão, esses artigos coletivamente ressaltam a importância crítica das células dendríticas na imunidade adaptativa. Cada estudo, com suas metodologias rigorosas e resultados significativos, contribui para uma compreensão mais completa de como as DCs capturam, processam e apresentam antígenos, e como essas interações modulam a resposta imune. As descobertas destacam não apenas os mecanismos biológicos fundamentais, mas também as potenciais aplicações terapêuticas, especialmente no campo da imunoterapia contra o câncer. A pesquisa contínua nessas áreas é essencial para desenvolver novas abordagens que possam melhorar a eficácia das respostas imunológicas e tratar uma variedade de doenças infecciosas e autoimunes.

4. CONCLUSÃO

A eficácia da resposta imunológica depende da integração harmoniosa entre a imunidade inata e adaptativa. Enquanto a imunidade inata oferece uma resposta imediata e ampla, a imunidade adaptativa proporciona uma defesa específica e de memória. As interações entre esses dois sistemas asseguram uma proteção robusta e ajustada contra diversos patógenos, destacando a importância da colaboração entre as diferentes componentes do sistema imunológico para a manutenção da saúde e prevenção de doenças.

REFERÊNCIAS

- AHMED, R., & GRAY, D. (1996). Immunological memory and protective immunity: understanding their relation. *Science*, 272(5258), 54-60.
- AKIRA, S., UEMATSU, S., & TAKEUCHI, O. (2006). Pathogen recognition and innate immunity. *Cell*, 124(4), 783-801.

- BANCHEREAU, J., & STEINMAN, R. M. (1998). Dendritic cells and the control of immunity. *Nature*, 392(6673), 245-252.
- BORGHESI, L., & MILCAREK, C. (2007). From B cell to plasma cell: regulation of V(D)J recombination and antibody secretion. *Immunologic Research*, 39(1-3), 121-131.
- CHAPLIN, D. D. (2010). Overview of the immune response. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2), S3-S23.
- GUERMONPREZ P, VALLADEAU J, ZITVOGEL L, THÉRY C, AMIGORENA S. Apresentação de antígenos e estimulação de células T por células dendríticas. *Annu Rev Immunol*. 2002;20:621-67. DOI: 10.1146/annurev.immunol.20.100301.064828.
- HARTY, J. T., TVINNEREIM, A. R., & WHITE, D. W. (2000). CD8+ T cell effector mechanisms in resistance to infection. *Annual Review of Immunology*, 18(1), 275-308.
- IWASAKI, A., & MEDZHITOV, R. (2015). Control of adaptive immunity by the innate immune system. *Nature Immunology*, 16(4), 343-353.
- JANEWAY, C. A., TRAVERS, P., WALPORT, M., & SHLOMCHIK, M. J. (2001). *Immunobiology: The Immune System in Health and Disease*. Garland Science.
- KOTSIAS F, CEBRIAN I, ALLOATTI A. Processamento e apresentação de antígenos. 2019;348:69-121. DOI: 10.1016/bs.ircmb.2019.07.005. Epub 2019 1º de agosto. PMID: 31810556.
- KUMAR, H., KAWAI, T., & AKIRA, S. (2011). Pathogen recognition by the innate immune system. *International Reviews of Immunology*, 30(1), 16-34.
- MEDZHITOV, R., & JANEWAY, C. A. (2000). Innate immune recognition: mechanisms and pathways. *Immunological Reviews*, 173(1), 89-97.
- MURPHY, K., WEAVER, C., & JANEWAY, C. (2012). *Janeway's Immunobiology*. Garland Science.
- NATHAN, C. (2006). Neutrophils and immunity: challenges and opportunities. *Nature Reviews Immunology*, 6(3), 173-182.
- PARKIN, J., & COHEN, B. (2001). An overview of the immune system. *The Lancet*, 357(9270), 1777-1789.
- PAUL, W. E., & SEDER, R. A. (1994). Lymphocyte responses and cytokines. *Cell*, 76(2), 241-251.
- PLOTKIN, S. A. (2005). Vaccines: past, present and future. *Nature Medicine*, 11(4), S5-S11.
- PULENDRAN, B., & DAVIS, M. M. (2020). The science and medicine of human immunology. *Science*, 369(6511), 986-993.
- SHARMA, P., & ALLISON, J. P. (2015). Immune checkpoint targeting in cancer therapy: toward combination strategies with curative potential. *Cell*, 161(2), 205-214.

- SPITZER, M. H., CARMÍ, Y., RETICKER-FLYNN, N. E., KWEK, S. S., MADHIREDDY, D., MARTINS, M. M., & ENGLEMAN, E. G. (2017). Systemic immunity is required for effective cancer immunotherapy. *Cell*, 168(3), 487-502.e15.
- STEINMAN, R. M. Células dendríticas e o controle da imunidade: aumentando a eficiência da apresentação de antígenos. *Mt Sinai J Med*. 2001 maio; 68(3):160-6. PMID: 11373688.
- SUN W, XU P, GAO K, LIAN W, SUN X. Análise abrangente da interação da apresentação do antígeno durante a imunidade antitumoral e o estabelecimento de sistemas AIDPS no câncer de ovário. *J Cell Mol Med*. 2024 abril; 28(8):e18309. DOI: 10.1111/jcmm.18309. PMID: 38613345; PMCID: PMC11015395.
- THÉRY C, AMIGORENA S. A biologia celular da apresentação de antígenos em células dendríticas. *Curr Opin Immunol*. Fevereiro de 2001; 13(1):45-51. DOI: 10.1016/S0952-7915(00)00180-1. PMID: 11154916.
- TRINCHIERI, G. (2003). Interleukin-12 and the regulation of innate resistance and adaptive immunity. *Nature Reviews Immunology*, 3(2), 133-146.
- VIVIER, E., RAULET, D. H., MORETTA, A., CALIGIURI, M. A., ZITVOGEL, L., LANIER, L. L., & UGOLINI, S. (2011). Innate or adaptive immunity? The example of natural killer cells. *Science*, 331(6013), 44-49.
- ZHU, J., YAMANE, H., & PAUL, W. E. (2010). Differentiation of effector CD4 T cell populations. *Annual Review of Immunology*, 28, 445-489.

CAPÍTULO XV

MECANISMOS DE INVASÃO E EVASÃO DO SISTEMA IMUNOLÓGICO PELO *TOXOPLASMA GONDII* E TERAPIAS INIBIDORAS

MECHANISMS OF IMMUNE SYSTEM INVASION AND EVASION BY *T. GONDII* AND INHIBITORY THERAPIES

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-15

Vinícius Queiroz Oliveira¹

Luísa Carregosa Santos²

Lorena Pinheiro Morais³

Emanuelle Lorrayne Ferreira⁴

¹ Doutorando em Genética e Bioquímica. Universidade Federal de Uberlândia - UFU

² Doutoranda em Ciências Fisiológicas. Universidade Federal da Bahia – UFBA

³ Mestranda em Genética e Bioquímica. Universidade Federal de Uberlândia - UFU

⁴ Mestranda em Genética e Bioquímica. Universidade Federal de Uberlândia - UFU

RESUMO

A toxoplasmose, causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*, é uma infecção zoonótica de importância clínica devido à sua capacidade de infectar uma ampla gama de hospedeiros vertebrados, incluindo humanos. O parasito, um apicomplexo intracelular obrigatório, possui um ciclo de vida complexo que envolve fases sexuadas em felídeos, seus hospedeiros definitivos, e fases assexuadas em outros mamíferos e aves, seus hospedeiros intermediários. Durante a infecção, o *T. gondii* invade as células hospedeiras através da formação de uma junção móvel composta por proteínas AMA1-RON, essenciais para a penetração e formação do vacúolo parasitóforo, onde o parasito se protege das defesas intracelulares. O complexo motor glideossoma, envolvendo proteínas como TgMyoA e TgGAP45, facilita a invasão. Após a entrada na célula, o *T. gondii* manipula a resposta imune do hospedeiro, modulando a produção de citocinas e evitando a destruição do vacúolo parasitóforo, permitindo a infecção crônica. Além disso, proteínas como ROP16 e GRA5 desempenham papéis críticos na evasão imunológica e na virulência do parasito. Apesar das terapias disponíveis, a necessidade de novos alvos terapêuticos que possam interromper esses mecanismos de invasão e evasão é evidente, com pesquisas recentes explorando potenciais intervenções, como a deleção de antígenos e proteínas específicas, para reduzir a virulência e o parasitismo.

Palavras-chave: Parasito. Célula. Parasitismo. Toxoplasmose. Apicomplexa

ABSTRACT

Toxoplasmosis, caused by the protozoan *Toxoplasma gondii*, is a zoonotic infection of clinical importance due to its ability to infect a wide range of vertebrate hosts, including humans. The parasite, an obligate intracellular apicomplexan, has a complex life cycle involving sexual phases in felids, its definitive hosts, and asexual phases in other mammals and birds, its intermediate hosts. During infection, *T. gondii* invades host cells through the formation of a moving junction composed of AMA1-RON proteins, essential for penetration and formation of the parasitophorous vacuole, where the parasite protects itself from intracellular defenses. The glideosome motor complex, involving proteins such as TgMyoA and TgGAP45, facilitates invasion. After entering the cell, *T. gondii* manipulates the host's immune response, modulating cytokine production and avoiding destruction of the parasitophorous vacuole, allowing chronic infection. Additionally, proteins like ROP16 and GRA5 play critical roles in immune evasion and parasite virulence. Despite available therapies, the need for new therapeutic targets that can disrupt these invasion and evasion mechanisms is evident, with recent research exploring potential interventions, such as the deletion of specific antigens and proteins, to reduce virulence and parasitism.

Keywords: Parasite. Cell. Parasitism. Toxoplasmosis. Apicomplexa



1. INTRODUÇÃO

A toxoplasmose é uma infecção zoonótica amplamente distribuída, causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*. Essa doença possui importância clínica e veterinária significativa devido à sua capacidade de infectar e causar danos à uma ampla gama de hospedeiros vertebrados, incluindo os humanos (LIU *et al.*, 2015; KOCHANOWSKY & KOSHY, 2018). O *T. gondii* é um parasito intracelular obrigatório, pertencente ao filo Apicomplexa, com ciclo de vida complexo incluindo fases sexuadas e assexuadas, sendo os felídeos os hospedeiros definitivos, onde ocorre a reprodução sexuada, enquanto outros mamíferos e aves atuam como hospedeiros intermediários, onde ocorre a reprodução assexuada (KIM & WEISS, 2004; MADIREDDY *et al.*, 2022).

O ciclo de vida pode ser dividido em três estágios principais: taquizoítos, bradizoítos e esporozoítos (DUBEY *et al.*, 1998). Os taquizoítos são a forma proliferativa rápida, presentes durante a fase aguda da infecção nos hospedeiros intermediários, cuja reprodução assexuada ocorre por endodiogenia (WILDFÜHR, 1966). Essas formas de vida têm formato de "lua crescente" com 2 a 6 µm de comprimento e possuem uma estrutura complexa, composta por várias organelas, incluindo apicoplasto, importante para a sobrevivência do parasito (BLADER *et al.*, 2015; GUBBELS *et al.*, 2008). Os bradizoítos, em contraste, são formas de replicação lenta que se agrupam em cistos teciduais, permanecendo latentes no hospedeiro por longos períodos. Morfologicamente, se assemelham aos taquizoítos, porém são mais delgados, com o núcleo situado próximo à extremidade posterior e roptrias carregadas com conteúdo elétron denso que varia conforme a idade do cisto tecidual (DUBEY *et al.*, 1998).

Os oocistos são a forma resultante da reprodução sexuada que ocorre exclusivamente nos enterócitos dos hospedeiros definitivos, como gatos domésticos e outros felídeos. Inicialmente, há uma reprodução por merogonia originando os esquizontes, que posteriormente sofrem gametogonia, originando os esporozoítos (DUBEY *et al.*, 1998). Os oocistos, compostos por oito esporozoítos e uma membrana, são excretados nas fezes e tornam-se infectantes após esporulação no ambiente (KOCHANOWSKY & KOSHY, 2018).

Os oocistos são as formas responsáveis pela transmissão da toxoplasmose, que ocorre principalmente, por meio da ingestão de alimentos ou água contaminados com oocistos, ou de carne mal cozida contendo cistos teciduais (MATTA *et al.*, 2021; SMITH *et al.*, 2021). A infecção do hospedeiro intermediário se inicia no intestino delgado, onde os esporozoítos e

bradizoítos invadem os enterócitos diferenciando-se em taquizoítos, sua forma altamente invasiva, que disseminam rapidamente pelo sistema circulatório para demais órgãos, incluindo baço, fígado, pulmões e cérebro (infecção aguda) (MATTA *et al.*, 2021). No tecido muscular e nervoso os parasitos se diferenciam em bradizoítos, onde irão permanecer encapsulados em cistos teciduais latentes, e esporadicamente se rompem para liberar parasitos dentro do hospedeiro (SMITH *et al.*, 2021; MÜLLER & HEMPHILL, 2023).

A maioria dos casos de infecção por *T. gondii* é assintomática ou apresenta sintomas semelhantes aos da gripe, não alarmando o indivíduo (KOCHANOWSKY & KOSHY, 2018). No entanto, a toxoplasmose pode causar complicações graves e ser letal em indivíduos com sistema imunológico deficiente, como pacientes com HIV/AIDS e fetos durante a gestação (LOURIDO, 2019; ZHANG *et al.*, 2019; MÜLLER & HEMPHILL, 2023).

Em pacientes imunocomprometidos, a doença pode levar a encefalite, pneumonite e miocardite, resultando em sintomas graves que requerem cuidados hospitalares extensivos (LUFT & REMINGTON, 1988; AGUIRRE *et al.*, 2019; ESCOBAR-GUEVARA *et al.*, 2023). Em gestantes, a toxoplasmose pode ser transmitida ao feto, causando abortos espontâneos, natimortos ou complicações congênitas graves, como hidrocefalia e déficits neurológicos. A toxoplasmose ocular pode causar lesões na retina, levando à perda parcial ou total da visão (HAMPTON, 2015; DUBEY *et al.*, 2021).

Neste capítulo, exploraremos a biologia, os mecanismos de transmissão, invasão celular, evasão do sistema imune pelo *Toxoplasma gondii* e potenciais alvos terapêuticos que envolvem estes mecanismos e que já estão em estudo.

Metodologia

Esta revisão apresenta uma pesquisa descritiva do tipo revisão integrativa da literatura que teve como objetivo apresentar as evidências científicas disponíveis acerca de estudos relacionados com os mecanismos de invasão e evasão do sistema imunológico por meio do parasito *Toxoplasma gondii*, bem como terapias atuais que evidenciem como afetar esses mecanismos como forma de diminuir o parasitismo. A pesquisa foi realizada através do acesso online nas bases de dados da National Library of Medicine (PubMed MEDLINE), Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Scholar nos meses de julho e agosto de 2024. Para a busca das obras foram utilizadas as palavras-chave: "*Toxoplasma gondii*," "invasão," "sistema imunológico," "evasão," "adesão," e "alvos terapêuticos." Como critérios de

inclusão, foram considerados artigos que abordassem o tema pesquisado e permitissem acesso integral ao conteúdo do estudo, em português e inglês.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MECANISMOS DE INVASÃO

Os zoítos apicomplexos são células polarizadas que começam a invadir as células hospedeiras pela ponta apical. Durante esse processo, desenvolve-se uma estrutura central chamada junção móvel (Moving Junction, MJ), que é uma ligação estreita entre o zoíto e as membranas plasmáticas da célula hospedeira. Esta junção nos *Toxoplasma gondii*, começa no polo apical e se desloca progressivamente para a extremidade posterior do parasito à medida que ele invade a célula (BESTEIRO *et al.*, 2011; KATO, 2018).

O complexo que forma a junção móvel é composto pela conjugação de proteínas AMA1-RON (que incluem RON2, RON4, RON5 e RON8) e pelos receptores de superfície da célula hospedeira, proteína MIC, conectados por aldolase (KATO, 2018). As proteínas TgRON, são moléculas secretadas por organelas denominadas Roptrias, sendo mais especificamente caracterizadas como Proteínas de Roptrias de Pescoço (Rhoptry Necks) e sua principal função é a de sustentação da ligação da junção móvel na célula hospedeira, facilitando a sua invasão (STRAUB *et al.*, 2011; KATO, 2018). A AMA1 é uma proteína secretada por micronemas e se situa na superfície do parasito durante a invasão (LAMARQUE *et al.*, 2011). As proteínas micronemas (MICs) são secretadas na extremidade apical do *T. gondii* e são fundamentais para a motilidade no deslizamento e invasão, atuando como os principais reconhecedores e ligantes da superfície da célula hospedeira e dos substratos (CARRUTHERS & BOOTHROYD, 2007; PORTES *et al.*, 2023).

A junção móvel cria uma justaposição entre as membranas do parasito e da célula hospedeira, ancorando o parasito à superfície da célula enquanto se desloca para forçar a invaginação da membrana da célula hospedeira, resultando na formação do vacúolo parasitóforo (PV) durante o processo de invasão (HORTA *et al.*, 2020; PORTES *et al.*, 2023).

No interior do taquizoíto, na sua extremidade apical, no momento da invasão é formada uma estrutura complexa que atua como “motor” para facilitar a invasão do *T. gondii*, através da junção móvel. Essa estrutura é denominada glideossoma e sua composição inclui uma miosina A de cadeia pesada (TgMyoA), uma miosina de cadeia leve (TgMLC1) e três

proteínas que possuem função no processo de deslizamento, TgGAP45, TgGAP50 (GASKINS *et al.*, 2004) e TgGAP40 (FRÉNAL *et al.*, 2010).

O TgGAP45 é uma proteína que se localiza entre o complexo da membrana interna e a membrana plasmática do parasito *Toxoplasma gondii*. Esse complexo motor está ancorado ao complexo da membrana interna por meio das proteínas TgGAP40, TgGAP50 e outras proteínas com múltiplas extensões de membrana (chamadas TgGAPMs), que se associam à alveolina (BULLEN *et al.*, 2009; BOUCHER & BOSCH, 2015; KATO, 2018). A conexão entre o glideosoma e a adesão celular é mediada pela aldolase, que se liga à actina. Além disso, estudos mostraram que as proteínas micronemais TgMIC2 e TgAMA1 também se conectam à aldolase (BOUCHER & BOSCH, 2015)

O *Toxoplasma gondii* pode penetrar em qualquer célula que possua núcleo, estabelecendo-se dentro dela em um vacúolo parasitóforo (PV). A membrana desse vacúolo (PVM) resguarda o parasita dos mecanismos de defesa intracelulares do citoplasma, que evoluíram para identificar patógenos presentes no citoplasma (SAEIJ & FRICKEL, 2017).

Após a invasão, o vacúolo parasitóforo (PV) inicialmente é pequeno, mas expande-se para acomodar novos taquizoítos resultantes dos ciclos de replicação (LEMGRUBER *et al.*, 2008). Esse aumento envolve a mobilização de lipídios das células hospedeiras, incorporados à membrana do PV (CAFFARO & BOOTHROYD, 2011; PORTES *et al.*, 2023). As projeções do PVM se estendem para o citoplasma do hospedeiro, conectando PVs na mesma célula e em células vizinhas, além de interagir com organelas do hospedeiro para obter nutrientes (LIGE *et al.*, 2011; ROMANO & COPPENS, 2013; PORTES *et al.*, 2023).

A maioria das proteínas do PVM são secretadas dos grânulos densos e roptrias. As proteínas roptrias localizam-se principalmente na face citoplasmática do PV, enquanto as dos grânulos densos estão em ambos os lados do PVM (MERCIER & CESBRON-DELAUW, 2015). Entre as proteínas roptrias conhecidas estão ROP1, ROP2, ROP4, ROP5, ROP7, ROP8, ROP17 e ROP18, que favorecem a infecção e restringem a ação do sistema imunológico (FOX *et al.*, 2016; BUTTERWORTH *et al.*, 2022).

2.2. MODULAÇÃO DA RESPOSTA IMUNE INATA E REGULAÇÃO DE CITOCINAS

A relação parasito-hospedeiro durante a infecção por *T. gondii* depende de fatores associados ao agente infeccioso, como por exemplo, a virulência da cepa e suas características genéticas, e da resposta imune inata e adquirida do hospedeiro. Como parte dessa relação,

evidencia-se a tentativa de defesa pelo hospedeiro e a contra defesa por parte do parasito (LANNES-VIEIRA, 2014).

Nesse sentido, o sistema imune do hospedeiro ativa uma resposta imune diante dos derivados do parasito e conduz a destruição do vacúolo parasitóforo, de modo a bloquear a proliferação do agente infeccioso, sendo essa tentativa mediada por ativação celular e produção de citocinas e anticorpos. De maneira oposta, o *T. gondii* libera fatores de virulência para inibir as respostas imunes inata e adquirida para evadir dos mecanismos gerados pelo hospedeiro, tornando crônica a infecção (LANNES-VIEIRA, 2014).

A imunidade inata, corresponde ao primeiro contato entre o parasito e o hospedeiro e através de uma resposta mediada por receptores de reconhecimento de padrões (PRRs), a exemplo dos receptores Toll (TLRs), se dá o reconhecimento dos ligantes associados ao agente infeccioso (BEUTLER *et al.*, 2006; SASAI; YAMAMOTO, 2013; KOBLANSKY *et al.*, 2013).

Através do reconhecimento do patógeno, ocorre a indução da liberação de TNF- α , e as interleucinas IL-6 (atuante em sinergismo com a IL-1 β) e IL-12 desenvolvendo uma resposta imune inata inicial e atuando sobre as células natural killers (NK) para produção do interferon (IFN- γ), com perfis pró-inflamatórios (SASAI; YAMAMOTO, 2013 BEUTLER *et al.*, 2006), sendo a IL-12, TNF- α e IFN- γ moléculas que exercem papéis primordiais durante a infecção (LANNES-VIEIRA, 2014).

Em relação ao papel das células da resposta imune inicial, durante a infecção por *T. gondii*, os macrófagos e as células dendríticas, ambas apresentadoras de antígenos (APCs), são ativadas pelo reconhecimento do agente infeccioso e atuam ainda, na ativação de células T CD4+ e T CD8+, que quando ativadas, continuam a produção de IFN- γ , conduzindo os mecanismos de combate ao parasito em vias mediadas por intermediários reativos de oxigênio (ROIs) e intermediários reativos de nitrogênio (RNIs) (LANNES-VIEIRA, 2014).

Além disso, as células linfoides inatas, os macrófagos, as células mieloides e células danificadas desempenham um importante envolvimento na defesa do hospedeiro contra *T. gondii* (SPITS *et al.*, 2013). Quando ativadas, atuam induzindo à produção de outras citocinas com perfis pró-inflamatórios, como as IL-5, IL-9, IL-13, IL-17A e IL-22, assim como IFN- γ , TNF- α (indução da resposta imune e produção de proteínas inflamatórias) (KLOSE, 2014; KLOSE; ARTIS, 2016; SPITS *et al.*, 2016).

Estudos mostram que há ainda, a produção de citocinas anti-inflamatórias, como a IL-10 e TGF- β 1. Tais citocinas caracterizam-se pelos papéis na exercidos na supressão da

resposta imune exacerbada para prevenção dos danos ocasionados pelo parasito (GAZZINELLI *et al.*, 1992; BARBOSA *et al.*, 2008; SABAT, 2010; LANNES-VIEIRA, 2014; BISWAS, *et al.*, 2015; GOMEZ MARIN, 2016).

T. gondii é capaz de evadir dos mecanismos do sistema imune. Para isso, ocorrem processos de envolvimento na sinalização celular e na modulação da produção de citocinas, estando envolvidos, além das células dendríticas (CDs), natural killers (NK) e linfócitos, os enterócitos e neutrófilos. Esses grupos celulares encontram-se associados em simultaneidade aos parasitos, gerando uma coexistência, de maneira a reduzir a eficiência da resposta efetora, estabelecendo, portanto, a infecção em sua forma crônica, que é evidenciada em diferentes tecidos do hospedeiro, em especial, no sistema nervoso central e nos músculos (LANNES-VIEIRA, 2014).

2.2.1. Alvos Terapêuticos em Potencial

Devido aos danos causados pela doença, tanto em humanos quanto em animais, a busca por novos alvos farmacológicos para o combate do *Toxoplasma gondii* é um desafio para a saúde pública (MÜLLER & HEMPHILL., 2023). Atualmente, os tratamentos de linha de frente para a toxoplasmose incluem, principalmente, o uso de combinações de fármacos antimicrobianos antifolatos, sendo o combo de sulfadiazina com pirimetamina a mais frequentemente prescrita (MÜLLER & HEMPHILL., 2023; SMITH *et al.*, 2021).

Apesar dos tratamentos com fármacos vigentes estarem bem estabelecidos, eles apresentam algumas limitações, como efeitos adversos, toxicidade e incapacidade de atuar na fase crônica da infecção, quando o parasito já formou os cistos teciduais (MÜLLER & HEMPHILL., 2023; RODRIGUEZ & SZAJNMAN., 2023; SMITH *et al.*, 2021). Essas limitações evidenciam a necessidade pela busca por novos alvos terapêuticos potenciais que possuam ênfase nos mecanismos de invasão e evasão envolvidos na patogênese do *Toxoplasma gondii* (ZHANG *et al.*, 2019).

Alguns estudos têm adotado essa abordagem, obtendo resultados promissores ao direcionar a estratégia de análise para possíveis alvos relacionados a capacidade de invasão e evasão do *Toxoplasma gondii*.

No estudo realizado por Hamie *et al.*, (2021) foi investigado o papel do antígeno P18 na capacidade de invasão e virulência de *T. gondii*. Esse antígeno é uma proteína de superfície expressa predominantemente nos estágios de taquizoítos e, em menor quantidade, nos

estágios de bradizoítos. A P18 pertence à família de sequências relacionadas ao Antígeno de Superfície 1 (SRS), as quais são definidas por apresentar papel crucial na regulação da resposta imune e na invasão do *T. gondii*. No estudo, o grupo observou que a deleção de P18 (Knockout P18/ KO P18), reduziu significativamente a capacidade do *T. gondii* de invadir macrófagos, ao mesmo tempo que potencializou a capacidade dos macrófagos ativados em combater as cepas Knockout P18, mediado por INF-gama, diminuindo ainda mais sua ação. Além disso, em estudos in vivo, foi observado que, embora tenha havido um aumento no número de cistos teciduais, o KO P18 impactou negativamente na virulência do parasito, resultando em menor parasitemia e maior sobrevivência dos camundongos infectados.

Já no estudo conduzido por Chen e Yang *et al.*, (2023), foi desenvolvido um protótipo de vacina utilizando estrategicamente a deleção de GRA5, proteína pertencente à família das proteínas de grânulos densos (GRAs) presente na membrana do vacúolo parasitóforo de *T. gondii*. Os resultados demonstraram que a vacina desenvolvida, ME49GRA5, foi capaz de induzir fatores pró-inflamatórios contra a infecção por *T. gondii*. Além disso, a vacina ME49GRA5 impediu a formação de cistos e reduziu a virulência do parasito, apesar de aumentar a resposta inflamatória a longo prazo nos camundongos. Esses achados destacam a eficácia da deleção de GRA5 na formulação da vacina, evidenciando o papel crucial de GRA5 na virulência, formação de cistos de *T. gondii*.

Em outro estudo conduzido por Jin *et al.*, (2023), foi investigado a influência de ROP16, proteína de roptria inoculada por *T. gondii* durante a infecção, na via de sinalização cGAS-STING, via crucial para a regulação das respostas imunológicas dependente da cascata de fosforilação dos intermediários STING, TBK1 e IRF3. O estudo revelou que o ROP16 inibe a resposta imunológica do interferon (IFN) tipo 1 em macrófagos de camundongos ao modular a via de sinalização cGAS-STING. A expressão anormal de ROP16 resultou na inibição significativa da fosforilação dose-dependente de TBK1 e IRF3, por meio da supressão específica da ativação do STING, que ocorre por meio da poliubiquitinação ligada ao K63 do STING. Além disso, a deleção de ROP16 em taquizoítos, promoveu a produção de fatores pró-inflamatórios, como o IFN-beta, IL-6, ISG15 e, principalmente, de IFNs tipo 1 mediada por STING, impactando concomitantemente na diminuição da replicação de *T. gondii*. Tais resultados destacam o papel crucial de ROP16 na modulação das respostas imunes induzidas por *T. gondii* durante a infecção através da via cGAS-STING.

Recentemente, as terapias direcionadas aos mecanismos de evasão do sistema imune pelo *Toxoplasma gondii* têm mostrado avanços promissores, embora algumas delas ainda não estejam disponíveis para o tratamento em humanos. Ressalta-se que, como demonstrado por Lima *et al.*, (2018), o parasito desenvolveu várias estratégias para evitar a detecção e a eliminação pelo sistema imune do hospedeiro, como a modificação do ambiente intracelular e a manipulação das respostas imunes inatas e adaptativas, principalmente a inibição da secreção de IL-1 induzida por LPS em neutrófilos humanos primários, destacando o impacto na modulação da resposta imune durante a infecção, e pode ser um importante alvo terapêutico.

Com relação as terapias que estão focadas na interferência nas estratégias de evasão Smith *et al.*, (2021) demonstrou diversas abordagens como o uso de inibidores de proteínas efetoras secretadas pelo parasito, que são cruciais para a modulação das vias de sinalização imune do hospedeiro.

Essas terapias emergentes representam um avanço significativo no tratamento da toxoplasmose, com o potencial de reduzir a carga parasitária e melhorar os resultados clínicos em pacientes infectados, mas ainda carecem de pesquisas adicionais para uma melhor compreensão desses mecanismos de invasão, evasão, sobrevivência do parasito, e interação das novas drogas com o organismo humano.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos avanços na compreensão dos mecanismos de invasão e evasão do *Toxoplasma gondii*, a toxoplasmose continua a representar um desafio significativo para a saúde pública, especialmente em indivíduos imunocomprometidos. A capacidade do parasito de manipular as respostas imunológicas do hospedeiro e persistir em um estado latente dentro das células dificulta o tratamento e aumenta o risco de reativação da infecção. As terapias atuais são limitadas em eliminar completamente o parasito ou em prevenir a infecção crônica. Portanto, é imperativo continuar a investigação de novos alvos terapêuticos que possam interromper esses processos, como as proteínas envolvidas na formação do vacúolo parasitóforo e na modulação da resposta imune. O desenvolvimento de estratégias que possam bloquear eficazmente a invasão do parasito ou neutralizar suas vias de evasão imunológica pode abrir caminhos para tratamentos mais eficazes e, potencialmente, para a erradicação da toxoplasmose.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, A. A. *et al.* Correction to: The One Health Approach to Toxoplasmosis: Epidemiology, Control, and Prevention Strategies. *EcoHealth*, v. 16, n. 2, p. 391, 2019. DOI: 10.1007/s10393-019-01420-8.
- BARBOSA, B. F. *et al.* BeWo trophoblast cell susceptibility to *Toxoplasma gondii* is increased by interferon-gamma, interleukin-10 and transforming growth factor beta1. *Clinical & Experimental Immunology*, v. 151, n. 3, p. 536-545, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2249.2007.03583.x.
- BEUTLER, B. *et al.* Genetic analysis of host resistance: Toll-like receptor signaling and immunity at large. *Annual Review of Immunology*, v. 24, p. 353-389, 2006.
- BISWAS, A. *et al.* Ly6C(high) monocytes control cerebral toxoplasmosis. *The Journal of Immunology*, v. 194, p. 3223-3235, 2015.
- BLADER, I. J. *et al.* Lytic Cycle of *Toxoplasma gondii*: 15 Years Later. *Annual Review of Microbiology*, v. 69, p. 463-485, 2015. DOI: 10.1146/annurev-micro-091014-104100.
- BOUCHER, L. E.; BOSCH, J. The apicomplexan glideosome and adhesins - Structures and function. *Journal of Structural Biology*, v. 190, n. 2, p. 93-114, 2015. DOI: 10.1016/j.jsb.2015.02.008.
- BULLEN, H. E. *et al.* A novel family of Apicomplexan glideosome-associated proteins with an inner membrane-anchoring role. *The Journal of Biological Chemistry*, v. 284, n. 37, p. 25353-25363, 2009. DOI: 10.1074/jbc.M109.036772.
- BUTTERWORTH, S. *et al.* *Toxoplasma gondii* ROP1 subverts murine and human innate immune restriction. *bioRxiv*, 2022. DOI: 10.1101/2022.03.21.485090.
- CAFFARO, C. E.; BOOTHROYD, J. C. Evidence for host cells as the major contributor of lipids in the intravacuolar network of *Toxoplasma*-infected cells. *Eukaryotic Cell*, v. 10, n. 8, p. 1095-1099, 2011. DOI: 10.1128/EC.00002-11.
- CARRUTHERS, V.; BOOTHROYD, J. C. Pulling together: an integrated model of *Toxoplasma* cell invasion. *Current Opinion in Microbiology*, v. 10, n. 1, p. 83-89, 2007. DOI: 10.1016/j.mib.2006.06.017.
- CHEN, M. *et al.* *Toxoplasma gondii* gra5 deletion mutant protects hosts against *Toxoplasma gondii* infection and breast tumors. *Frontiers in Immunology*, v. 14, p. 1173379, 2023. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1173379.
- DUBEY, J. P.; LINDSAY, D. S.; SPEER, C. A. Structures of *Toxoplasma gondii* tachyzoites, bradyzoites, and sporozoites and biology and development of tissue cysts. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 11, n. 2, p. 267-299, 1998. DOI: 10.1128/CMR.11.2.267.

- DUBEY, J. P. *et al.* Congenital toxoplasmosis in humans: an update of worldwide rate of congenital infections - CORRIGENDUM. *Parasitology*, v. 148, n. 13, p. 1716, 2021. DOI: 10.1017/S0031182021001463.
- ESCOBAR-GUEVARA, E. E. *et al.* Defects in immune response to *Toxoplasma gondii* are associated with enhanced HIV-1-related neurocognitive impairment in co-infected patients. *PLoS One*, v. 18, n. 5, p. e0285976, 2023. DOI: 10.1371/journal.pone.0285976.
- FOX, B. A. *et al.* The *Toxoplasma gondii* Rhopty Kinome Is Essential for Chronic Infection. *mBio*, v. 7, n. 3, p. e00193-16, 2016. DOI: 10.1128/mBio.00193-16.
- FRÉNAL, K. *et al.* Functional dissection of the apicomplexan glideosome molecular architecture. *Cell Host & Microbe*, v. 8, n. 4, p. 343–357, 2010. DOI: 10.1016/j.chom.2010.09.002.
- GASKINS, E. *et al.* Identification of the membrane receptor of a class XIV myosin in *Toxoplasma gondii*. *The Journal of Cell Biology*, v. 165, n. 3, p. 383–393, 2004. DOI: 10.1083/jcb.200311137.
- GAZZINELLI, R. T. *et al.* IL-10 inhibits parasite killing and nitrogen oxide production by IFN- γ -activated macrophages. *The Journal of Immunology*, v. 148, p. 1792-1796, 1992.
- GOMEZ MARIN, J. E. Possibilities for immunomodulation in congenital toxoplasmosis. *Journal of Infectious Diseases*, v. 214, n. 4, p. 656, 2016.
- GUBBELS, M. J.; WHITE, M.; SZATANEK, T. The cell cycle and *Toxoplasma gondii* cell division: tightly knit or loosely stitched? *International Journal for Parasitology*, v. 38, n. 12, p. 1343–1358, 2008. DOI: 10.1016/j.ijpara.2008.06.004.
- HAMIE, M. *et al.* P18 (SRS35/TgSAG4) Plays a Role in the Invasion and Virulence of *Toxoplasma gondii*. *Frontiers in Immunology*, v. 12, p. 643292, 2021. DOI: 10.3389/fimmu.2021.643292.
- HAMPTON, M. M. Congenital Toxoplasmosis: A Review. *Neonatal Network: NN*, v. 34, n. 5, p. 274–278, 2015. DOI: 10.1891/0730-0832.34.5.274.
- HORTA, M. F. *et al.* Cell invasion by intracellular parasites - the many roads to infection. *Journal of Cell Science*, v. 133, n. 4, p. jcs232488, 2020. DOI: 10.1242/jcs.232488.
- JIN, Q. W. *et al.* ROP16 of *Toxoplasma gondii* Inhibits Innate Immunity by Triggering cGAS-STING Pathway Inactivity through the Polyubiquitination of STING. *Cells*, v. 12, n. 14, p. 1862, 2023. DOI: 10.3390/cells12141862.
- KATO, K. How does *Toxoplasma gondii* invade host cells?. *The Journal of Veterinary Medical Science*, v. 80, n. 11, p. 1702–1706, 2018. DOI: 10.1292/jvms.18-0344.

- KLOSE, C. S.; ARTIS, D. Innate lymphoid cells as regulators of immunity, inflammation and tissue homeostasis. *Nature Immunology*, v. 17, p. 765-774, 2016.
- KLOSE, C. S. N. *et al.* Differentiation of type 1 ILCs from a common progenitor to all helper-like innate lymphoid cell lineages. *Cell*, v. 157, p. 340-356, 2014.
- KOBLANSKY, A. A. *et al.* Recognition of profiling by Toll-like receptor 12 is critical for host resistance to *Toxoplasma gondii*. *Immunity*, v. 38, p. 119-130, 2013. DOI: 10.1016/j.immuni.2012.09.016.
- KOCHANOWSKY, J. A.; KOSHY, A. A. *Toxoplasma gondii*. *Current Biology: CB*, v. 28, n. 14, p. R770-R771, 2018. DOI: 10.1016/j.cub.2018.05.035.
- LAMARQUE, M. *et al.* The RON2-AMA1 interaction is a critical step in moving junction-dependent invasion by apicomplexan parasites. *PLoS Pathogens*, v. 7, n. 2, p. e1001276, 2011. DOI: 10.1371/journal.ppat.1001276.
- LANNES-VIEIRA, J. Resposta imune na infecção por *Toxoplasma gondii*: desafios e oportunidades. In: SOUZA, W.; BELFORT JR., R. (org.). *Toxoplasmose & Toxoplasma gondii* [online]. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2014, p. 83-98. ISBN: 978-85-7541-571-9. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9788575415719.0008>.
- LEMGRUBER, L.; DE SOUZA, W.; VOMMARO, R. C. Freeze-fracture study of the dynamics of *Toxoplasma gondii* parasitophorous vacuole development. *Micron (Oxford, England: 1993)*, v. 39, n. 2, p. 177-183, 2008. DOI: 10.1016/j.micron.2007.01.002.
- LIGE, B. *et al.* Deficiency of a Niemann-Pick, type C1-related protein in *Toxoplasma* is associated with multiple lipidoses and increased pathogenicity. *PLoS Pathogens*, v. 7, n. 8, p. e1002410, 2011. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002410.
- LIMA, T. S.; GOV, L.; LODOEN, M. B. Evasion of Human Neutrophil-Mediated Host Defense during *Toxoplasma gondii* Infection. *mBio*, v. 9, n. 1, e02027-17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/mBio.02027-17>.
- LIU, Q.; WANG, Z. D.; HUANG, S. Y.; ZHU, X. Q. Diagnosis of toxoplasmosis and typing of *Toxoplasma gondii*. *Parasites & Vectors*, v. 8, p. 292, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0902-6>.
- LOFT, B. J.; REMINGTON, J. S. AIDS commentary. Toxoplasmic encephalitis. *The Journal of Infectious Diseases*, v. 157, n. 1, p. 1-6, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/infdis/157.1.1>.
- LOURIDO, S. *Toxoplasma gondii*. *Trends in Parasitology*, v. 35, n. 11, p. 944-945, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.07.001>.
- MADIREDDY, S.; RIVAS CHACON, E. D.; MANGAT, R. *Toxoplasmosis*. PubMed; StatPearls Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563286/>.

- MATTA, S. K.; RINKENBERGER, N.; DUNAY, I. R.; SIBLEY, L. D. *Toxoplasma gondii* infection and its implications within the central nervous system. *Nature Reviews Microbiology*, v. 19, n. 7, p. 467-480, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00518-7>.
- MELATIANI, N. *et al.* Synthesis and Characterization of Chitosan-Maltose Nanoparticles as Drug Delivery Systems for Anti-*Toxoplasma gondii* Activity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, v. 63, p. 102496, 2021. DOI: 10.1016/j.jddst.2021.102496.
- MORRISSETTE, N. S.; SEETHARAMAN, S. *Toxoplasma gondii*: host cell interactions from the parasite perspective. *Cellular Microbiology*, v. 21, n. 1, p. e13021, 2019. DOI: 10.1111/cmi.13021.
- MÜLLER, J.; HEMPHILL, A. *Toxoplasma gondii* infection: novel emerging therapeutic targets. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, v. 27, n. 4-5, p. 293-304, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14728222.2023.2217353>.
- NISHIKAWA, Y.; KOYAMA, T.; FUKATA, T. Development and Evaluation of a Recombinant Vaccinia Virus Expressing *Toxoplasma gondii* ROP18 against *T. gondii* Infection in Cats. *The Journal of Veterinary Medical Science*, v. 69, n. 7, p. 799–801, 2007. DOI: 10.1292/jvms.69.799.
- REGE, T. A.; HUBBARD, A. K.; WILSON, E. H. *Toxoplasma gondii* infection of the central nervous system: mechanisms of parasite persistence and associated neurologic symptoms. *Current Clinical Microbiology Reports*, v. 2, p. 47–58, 2015. DOI: 10.1007/s40588-015-0012-2.
- RODRIGUEZ, J. B.; SZAJNMAN, S. H. An updated review of chemical compounds with anti-*Toxoplasma gondii* activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*, v. 262, p. 115885, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2023.115885>.
- SABAT, R. IL-10 family of cytokines. *Cytokine & Growth Factor Reviews*, v. 21, p. 315-324, 2010.
- SANTOS, J. M. *et al.* Intramembrane proteolysis mediates shedding of a key adhesin during *Toxoplasma* invasion. *PloS Pathogens*, v. 7, n. 12, p. e10000791, 2011. DOI: 10.1371/journal.ppat.10000791.
- SASAI, M.; YAMAMOTO, M. Pathogen recognition receptors: ligands and signaling pathways by Toll-like receptors. *International Reviews of Immunology*, v. 32, p. 116-133, 2013.
- SIDIK, S. M. *et al.* A genome-wide CRISPR screen in *Toxoplasma* identifies essential apicomplexan genes. *Cell*, v. 166, n. 6, p. 1423–1435.e12, 2016. DOI: 10.1016/j.cell.2016.08.019.
- SMITH, N. C.; GOULART, C.; HAYWARD, J. A.; KUPZ, A.; MILLER, C. M.; VAN DOOREN, G. G. Control of human toxoplasmosis. *International Journal for Parasitology*, v. 51, n. 2-3, p. 95-121, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.11.001>.

- SPITS, H.; BERNINK, J. H.; LANIER, L. NK cells and type 1 innate lymphoid cells: partners in host defense. *Nature Immunology*, v. 17, p. 758-764, 2016.
- SPITS, H. *et al.* Innate lymphoid cells—a proposal for uniform nomenclature. *Nature Reviews Immunology*, v. 13, p. 145-149, 2013.
- SUAREZ, C. E. *et al.* Multiomics analysis reveals novel insights into the biology of the apicomplexan parasite *Theileria equi*. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 10051, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-66510-8.
- WILDFÜHR, W. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Morphologie und Reproduktion von *Toxoplasma gondii*. II. Beobachtungen zur Reproduktion von *Toxoplasma gondii* (Endodyogenie) [Electron microscopic studies on the morphology and reproduction of *Toxoplasma gondii*. II. Observations on the reproduction of *Toxoplasma gondii* (endodyogeny)]. *Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene*. 1. Abt. Medizinisch-hygienische Bakteriologie, Virusforschung und Parasitologie. Originale, v. 201, n. 1, p. 110-130, 1966.
- WILSON, C. B. *et al.* *Toxoplasma gondii*: a model for molecular parasitology. *Current Opinion in Microbiology*, v. 4, n. 4, p. 323–328, 2021. DOI: 10.1016/S0959-437(00)00216-9.
- ZHANG, Y.; LAI, B. S.; JUHAS, M.; ZHANG, Y. *Toxoplasma gondii* secretory proteins and their role in invasion and pathogenesis. *Microbiological Research*, v. 227, p. 126293, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.06.003>.

CAPÍTULO XVI

FITOTERÁPICOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DA ANSIEDADE E DEPRESSÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

PHYTOTHERAPY USED IN THE TREATMENT OF ANXIETY AND DEPRESSION: A LITERATURE REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-16

Marlon Araújo dos Santos¹
Maycon Araújo dos Santos²
Wellington dos Santos Alves³
Dérick Emmanuel de Sousa Batista⁴
Emily Miranda Gomes⁵
Gustavo Santana Araújo⁶
Mírian Hellen Campelo Viana⁷
Ulisses Silva Vasconcelos⁸
Elen dos Santos Araújo⁹

^{1, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Graduando do Curso de Fisioterapia na Universidade Estadual do Piauí - UESPI

² Químico pela Universidade Estadual do Piauí - UESPI

³ Docente da Universidade Estadual do Piauí – UESPI

RESUMO

O transtorno de ansiedade é uma doença incapacitante e pode levar o indivíduo a apresentar sintomas físicos e psicológicos inespecíficos. Por outro lado, a depressão é a doença mental mais comum e uma das principais causas de incapacidade, podendo causar alterações psíquicas, pensamentos depressivos, além de aumentar a taxa de morbimortalidade. Essas condições podem ocorrer simultaneamente e seus sintomas podem se sobrepôr nos indivíduos. Pacientes com ambas as comorbidades tendem a apresentar sintomas mais graves e prolongados. Assim, a terapia farmacológica para essas duas condições pode trazer benefícios como também efeitos adversos, sugerindo muitas das vezes a não adoção por esses tratamentos. Dessa forma, o objetivo dessa revisão é avaliar os principais fitoterápicos utilizados no tratamento da ansiedade e depressão. Utilizando descritores e operadores booleanos, inicialmente foram identificados 2021 estudos nas bases de dados Pubmed, Medline e Lilacs. Com os critérios de inclusão e exclusão e uma avaliação detalhada a amostra final foi composta com 19 estudos. Como resultado, os fitoterápicos produzidos a partir do açafraão foram os mais estudados, seguidos pelos

fitoterápicos feitos com camomila e Melissa officinalis. Portanto, diversas plantas medicinais demonstraram potencial terapêutico promissor. Embora, o açafraão, a camomila e a Melissa officinalis estão entre os fitoterápicos mais estudados no tratamento da ansiedade e depressão, com efeitos promissores. Em suma, a pesquisa revisada enfatiza a importância dos fitoterápicos como opções terapêuticas complementares para ansiedade e depressão, oferecendo alternativas promissoras aos tratamentos convencionais, com potencial para melhorar a qualidade de vida dos pacientes.

Palavras-chave: Fitoterapia. Ansiedade. Depressão.

ABSTRACT

The anxiety disorder is a disabling illness that can lead individuals to present nonspecific physical and psychological symptoms. On the other hand, depression is the most common mental illness and one of the main causes of disability, capable of causing psychic alterations, depressive thoughts, and increasing morbidity and mortality rates. These conditions can occur simultaneously, and their symptoms may overlap in individuals. Patients with

both comorbidities tend to present more severe and prolonged symptoms. Therefore, pharmacological therapy for these two conditions can bring benefits as well as adverse effects, often suggesting non-adoption of these treatments. Thus, the objective of this review is to evaluate the main herbal medicines used in the treatment of anxiety and depression. Using descriptors and Boolean operators, initially 2021 studies were identified in the PubMed, Medline, and Lilacs databases. With inclusion and exclusion criteria and a detailed evaluation, the final sample consisted of 19 studies. As a result, herbal medicines derived from saffron were the most studied, followed by those made

from chamomile and *Melissa officinalis*. Therefore, various medicinal plants have shown promising therapeutic potential. Although saffron, chamomile, and *Melissa officinalis* are among the most studied herbal medicines in the treatment of anxiety and depression, with promising effects, in summary, the reviewed research emphasizes the importance of herbal medicines as complementary therapeutic options for anxiety and depression, offering promising alternatives to conventional treatments with the potential to improve patients' quality of life.

Keywords: Phytotherapy. Anxiety. Depression.

1. INTRODUÇÃO

O transtorno de ansiedade é uma doença incapacitante e pode levar o indivíduo a apresentar sintomas físicos e psicológicos inespecíficos (Martini; Patel; Fancher, 2019). Além disso, se configura como um dos transtornos psiquiátricos mais prevalentes, acompanhado de um alto custo financeiro quando se opta por um tratamento médico, embora a taxa de sucesso durante esse processo é inferior a 50% (Robinson *et al.*, 2019).

Por outro lado, a depressão é a doença mental mais comum e uma das principais causas de incapacidade, podendo causar alterações psíquicas, pensamentos depressivos, além de aumentar a taxa de morbimortalidade (Liu *et al.*, 2020). Ademais, é estabelecido que a depressão pode aumentar a taxa de outras doenças, como doenças cardiovasculares, renais e diabetes (Beurel; Troups; Nemeroff, 2020). Outro fator preocupante, é que 34% dos adolescentes em todo mundo, entre 10 a 19 anos, podem desenvolver esta doença, ficando superior quando as estimativas de indivíduos com 18 a 25 anos (Shorey; Ng; Wong, 2022).

Para mais, essas condições podem ocorrer simultaneamente e seus sintomas podem se sobrepor nos indivíduos. Pacientes com ambas as comorbidades tendem a apresentar sintomas mais graves e prolongados. Embora depressão e ansiedade sejam transtornos distintos, sua etiologia compartilha fatores semelhantes, como predisposições genéticas, influências ambientais e vários mecanismos biológicos. Entre os principais mecanismos biológicos envolvidos na fisiopatologia desses transtornos, há fortes evidências que apontam a neuroinflamação como um fator crucial no surgimento e desenvolvimento desses distúrbios (Kouba *et al.*, 2022).

De outro modo, pessoas da ansiedade e depressão que não possuem um diagnóstico, podem estar sobre efeito desregulado de cortisol e à recuperação do estresse, o que pode

indicar um aumento da desregulação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (Fiksdal *et al.*, 2019). De outro modo, há relatos sobre os transtornos de ansiedade, que frequentemente se manifestam na infância ou adolescência, geralmente precedem o surgimento dos sintomas do Transtorno Depressivo Maior (TDM) e elevam o risco de seu desenvolvimento. Além disso, quando esses transtornos de ansiedade estão presentes em jovens com depressão, eles aumentam a morbidade e a resistência ao tratamento, mais do que se esperaria apenas com o TDM ou um transtorno de ansiedade isoladamente. De fato, a combinação desses transtornos eleva a probabilidade de ideação suicida (Dobson *et al.*, 2021).

Assim, a terapia farmacológica para essas duas condições pode trazer benefícios como também efeitos adversos, sugerindo muitas das vezes a não adoção por esses tratamentos. Dessa forma, a utilização de plantas pode aliviar os sintomas neuropsiquiátricos, não apenas sendo utilizadas como remédios, mas como suplementos dietéticos (Kenda *et al.*, 2022). Dessa forma, o objetivo dessa revisão é avaliar os principais fitoterápicos utilizados no tratamento da ansiedade e depressão.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com a seguinte questão norteadora: “Quais os principais fitoterápicos utilizados no tratamento da ansiedade e depressão?”. Dessa forma, o levantamento bibliográfico foi realizado nas seguintes bases de dados: PubMed (*National Library of Medicine*), Medline (*Medical Literature Analysis and Retrieval System Online*) Lilacs (*Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde*).

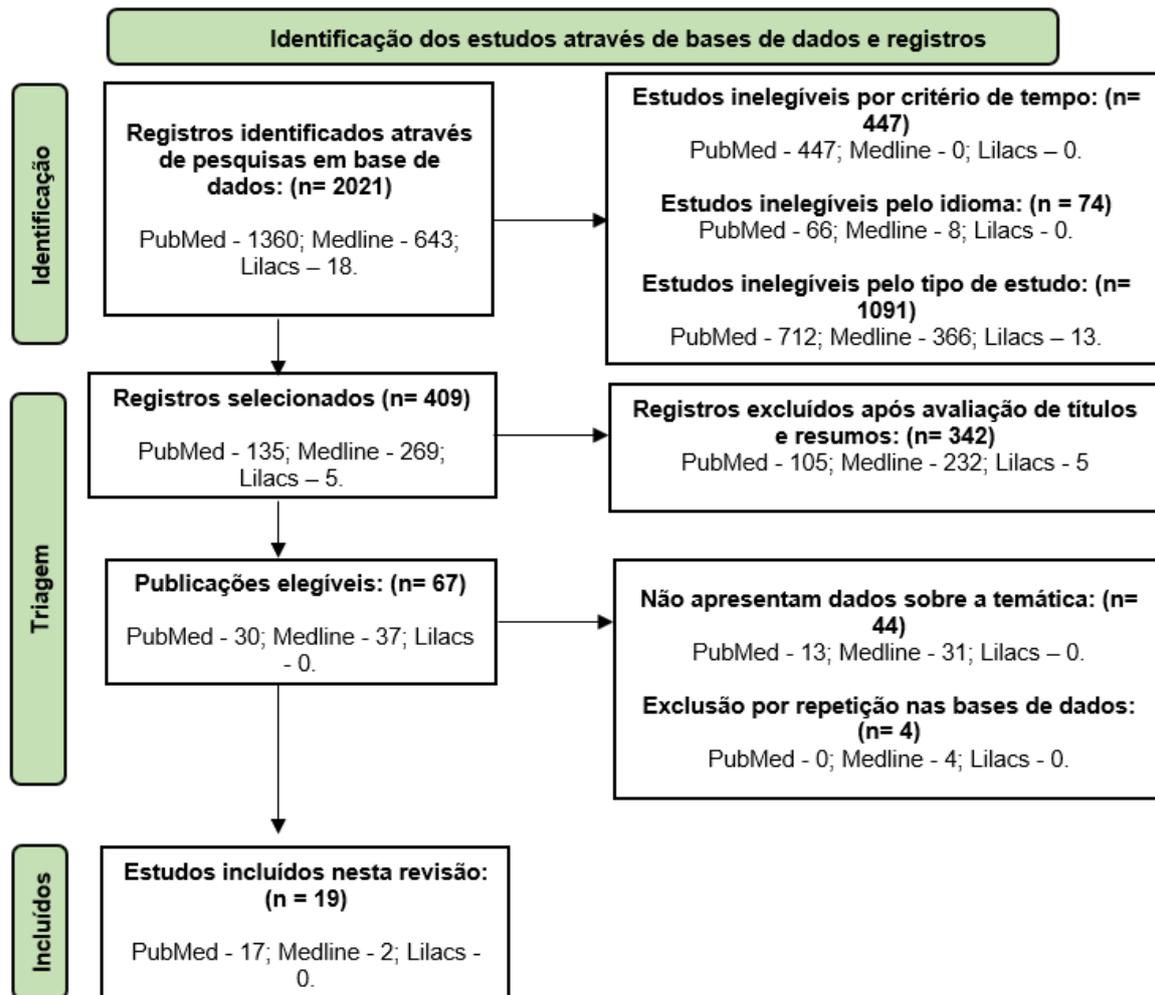
A busca foi realizada no mês de julho de 2024, com os descritores e operadores booleanos “Plants OR Phytotherapy AND Anxiety AND Depression” Assim, os critérios de inclusão adotados para a seleção dos artigos foram: estudos completos, artigos publicados entre 2014 a 2024, encontrados nos idiomas: português, inglês e espanhol. Foram excluídos estudos que não abordassem diretamente a temática abordada ou que não respondessem à questão norteadora, estudos de revisão tradicional, sistemática e integrativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando descritores e operadores booleanos, inicialmente foram identificados 2021 estudos nas bases de dados Pubmed, Medline e Lilacs. Após aplicar filtros para incluir apenas estudos publicados entre 2014 e 2024, restaram 1574 artigos. Posteriormente, realizou-se

uma busca nos idiomas inglês, português e espanhol, resultando em 1500 estudos. Após excluir revisões, 409 trabalhos foram dispostos e ao realizar uma análise detalhada dos títulos e resumos, foram selecionados 67 estudos para uma análise mais aprofundada, obtendo assim uma amostra final de 19 estudos (figura 1).

Figura 1: Fluxograma do processo de busca e seleção dos artigos baseado no protocolo PRISMA



Quadro 1: Estudos dispostos por ordem de publicação.

| | AUTOR/AN O | OBJETIVO | FOCO DO ESTUDO | DOSAGEM | CONCLUSÃO |
|---|------------------------------------|--|--|---|--|
| 1 | BROCK <i>et al.</i> , 2014. | Avaliar os efeitos de <i>Crocus sativus lateriflora</i> sobre ansiedade e múltiplos fatores de humor em indivíduos saudáveis. | Ansiedade e alterações de humor. | 350 mg de <i>S. lateriflora</i> durante duas semanas. | A <i>Crocus sativus lateriflora</i> pode ser superior ao diazepam e à buspirona na sua capacidade de produzir efeitos de melhoria do humor sem efeitos colaterais, como redução da energia ou cognição ou causar fadiga. |
| 2 | KASPER <i>et al.</i> , 2014. | Demonstrar a superioridade do Silexan sobre o placebo na redução da pontuação total do HAMA dos participantes durante o tratamento randomizado e comparar a eficácia ansiolítica do Silexan com a da paroxetina. | Transtorno de ansiedade generalizada | Cápsulas de gelatina mole de liberação imediata contendo 80 ou 160 mg de óleo de lavanda uma vez ao dia durante 10 semanas. | O Silexan é eficaz e bem tolerado em pacientes com TAG, também na dosagem mais elevada de 160 mg/d. |
| 3 | Cropley; Banks; Boyle, 2015. | Avaliar o impacto de <i>Rhodiola rosea</i> L. extrato sobre ansiedade, estresse, cognição e outros sintomas de humor autorrelatados. | Ansiedade, estresse, cognição e outros sintomas de humor autorrelatados. | Dose de 2 x 200 mg de Vitano®, 1 comprimido antes do café da manhã e 1 comprimido antes do almoço durante 14 dias. | O grupo experimental demonstrou uma redução significativa nos autorrelatos de ansiedade, estresse, raiva, confusão e depressão em 14 dias e uma melhora significativa no humor total. |
| 4 | Panahi Y <i>et al.</i> , 2015 | Investigar o impacto de curta suplementação a prazo com extrato quimicamente definido de <i>Chlorella vulgaris</i> como adjuvante da terapia antidepressiva a padrão em pacientes sofrendo de TDM. | Depressão. | Dose diária de 1800 mg/dia durante 6 semanas. | O tratamento adequado do TDM está associado a um melhor controle dos sintomas somáticos e cognitivos de depressão e ansiedade, mas não sintomas afetivos da depressão. |
| 5 | GHAJAR <i>et al.</i> , 2016. | Comparar a tolerabilidade, segurança e eficácia do <i>Crocus sativus</i> ao citalopram no tratamento do TDM com angústia ansiosa usando um duplo-cego, randomizado com desenho de ensaio trolado. | Transtorno Depressivo Maior com Angústia Ansiosa. | Primeira semana foi utilizado 15 mg de extrato de açafraão por dia, a partir da 2 semana utilizando 2 capsulas. | a administração de açafraão é tão segura e eficaz quanto o citalopram no tratamento do TDM com sofrimento ansioso. |

| | AUTOR/AN O | OBJETIVO | FOCO DO ESTUDO | DOSAGEM | CONCLUSÃO |
|---|---------------------------------|--|--|---|---|
| 6 | TELAEI <i>et al.</i> , 2015. | avaliar a eficácia da crocina, principal constituinte ativo do açafião, como tratamento adjuvante no transtorno depressivo maior (TDM). | Transtorno depressivo maior. | Comprimidos de crocina 30 mg/dia duas vezes ao dia durante 4 semanas. | A adição de comprimidos de crocina (30 mg/dia, ampliou os efeitos dos ISRS no tratamento de pacientes com depressão leve a moderada. |
| 7 | KEEFE <i>et al.</i> , 2016. | Avaliar se o tratamento com extrato de camomila pode reduzir a gravidade do TAG e estaria associado a um evento adverso favorável e a um perfil de tolerabilidade. | Transtorno de ansiedade generalizada moderado a grave. | Extrato de camomila de grau farmacêutico 1.500 mg/dia por até 8 semanas. | O extrato de camomila pode produzir uma relação risco/benefício mais favorável do que os agentes ansiolíticos convencionais. |
| 8 | Lopresti; Drumound, 2016. | Investigar os efeitos sintomáticos e o perfil de segurança da curcumina e de açafião/curcumina ao longo do tempo. um período de 12 semanas. | Depressão grave. | Estudo de 12 semanas, com os grupos divididos em curcumina em dose baixa contendo 250 mg da curcumina, curcumina/açafião em baixas doses combinação, contendo 250mg e 15mg de Açafião e grupo curcumina em altas doses contendo 500 mg. | Em conclusão, os presentes resultados fornecem suporte para o uso de antidepressivos e ansiolíticos. efeitos da curcumina em pessoas com transtorno depressivo maior, embora não haja diferenças significativas na eficácia entre doses altas e baixas. A adição de açafião à curcumina em baixas doses também não aumentou a eficácia do tratamento. Este estudo também fornece a confirmação do aumento da potência da curcumina em pessoas com depressão atípica em comparação com outras contrapartes deprimidas. |

| | AUTOR/AN O | OBJETIVO | FOCO DO ESTUDO | DOSAGEM | CONCLUSÃO |
|----|----------------------------------|---|---|---|--|
| 9 | Mazidi <i>et al.</i> , 2016. | Avaliar a eficácia de <i>Crocus Sativus L.</i> no tratamento da depressão e ansiedade leves a moderadas em um Ensaio duplo-cego controlado por placebo de 12 semanas. | Depressão e ansiedade leve a moderada. | Os pacientes foram designados aleatoriamente para receber uma cápsula de 50 mg de açafraão duas vezes ao dia como o grupo de estudo ou a mesma dosagem de uma cápsula de placebo que o grupo controle por 12 semanas. | As consequências deste estudo confirmam a eficácia do açafraão para ansiedade mista leve a moderada e depressão. Novos estudos devem ser realizados para investigar o constituinte exato do açafraão como eficaz agente e a dosagem necessária para um efeito ideal sobre a ansiedade e depressão. |
| 10 | Kyrou <i>et al.</i> , 2017 | Estudar os efeitos de um extrato seco de lúpulo sobre a depressão autorrelatada, ansiedade e níveis de estresse em adultos jovens. | Ansiedade, depressão e estresse. | Cápsulas de extrato seco de lúpulo (duas cápsulas de 0,2 g uma vez ao dia à noite, que é a dose diária recomendada para este suplemento de lúpulo) durante 4 semanas. | A intervenção foi capaz de reduzir significativamente os níveis de todos esses sintomas. |
| 11 | Timothy <i>et al.</i> , 2017. | Explorar se o chá de Agar-35 melhoraria ansiedade, afeto, estresse e ruminação. | Ansiedade, afeto, estresse e ruminação. | Chás durante 7 dias com 1,5 colher de chá por dia. | O Agar-35, um medicamento fitoterápico tradicional tibetano, pode reduzir medidas não clínicas associadas à ansiedade e dificuldades de humor em estudantes universitários. |
| 12 | DAI <i>et al.</i> , 2018. | Explorar o efeito do extrato de <i>Ginkgo biloba</i> (EGb) como adjuvante no tratamento de pacientes idosos com depressão e o efeito sobre a expressão da S100B sérica. | Depressão. | Grupo EGb + citalopram (Cit) recebeu EGb Tablets para o tratamento, 19,2mg por vez, e 3 vezes ao dia. | EGb foi um tratamento adjuvante eficaz em melhorar os sintomas depressivos e reduzir a expressão de S100B no soro no tratamento de pacientes idosos com depressão. Desempenhou um papel sinérgico com a combinação de Cit. |

| | AUTOR/AN O | OBJETIVO | FOCO DO ESTUDO | DOSAGEM | CONCLUSÃO |
|----|----------------------------------|--|--|--|---|
| 13 | Haybar <i>et al.</i> , 2018. | Investigar o efeito das cápsulas de Melissa Officinalis na depressão, estresse, ansiedade, e distúrbios do sono de pacientes com angina crônica estável. | Depressão, ansiedade e distúrbios do sono. | 3 cápsulas (3 g) por dia durante 8 semanas. | O grupo de intervenção teve uma redução significativa nos escores de depressão, ansiedade, estresse e distúrbio total do sono, em comparação com o grupo placebo. |
| 14 | LOPRESTI <i>et al.</i> , 2018. | Examinar a eficácia de um açafão em jovens de 12 a 16 anos apresentando ansiedade leve a moderada e/ou depressiva. | Ansiedade e depressão. | Ingestão de comprimido, duas vezes ao dia, com ou sem alimento por 8 semanas, contendo 14 mg do extrato. | Melhora da ansiedade e dos sintomas depressivos em jovens com sintomas leves a moderados, pelo menos da perspectiva do adolescente. No entanto, esses efeitos benéficos foram inconsistentemente corroborados pelos pais. |
| 15 | Nematollahi <i>et al.</i> , 2018 | Avaliar os efeitos do alecrim oral sobre o desempenho de memória, ansiedade, depressão e qualidade do sono em universitários. | Memória, ansiedade, depressão e qualidade do sono. | Partes aéreas secas em pó de alecrim em cápsula de 500 mg duas vezes ao dia durante um mês. | O alecrim, como erva tradicional, pode ser usado para aumentar a memória prospectiva e retrospectiva, reduzir a ansiedade e a depressão e melhorar a qualidade do sono em estudantes universitários. |
| 16 | Amsterdam <i>et al.</i> , 2020. | Examinar o suposto efeito antidepressivo de Matricaria chamomilla L. (camomila) extrato em indivíduos com transtorno de ansiedade generalizada (TAG) com ou sem comorbidade depressão. | Transtorno de ansiedade generalizada | extrato oral de camomila cápsulas de 500 mg totalizando 1.500 mg por dia. | Além de sua atividade ansiolítica primária em indivíduos com TAG, M. camomila. O extrato oral pode demonstrar uma redução substancial dos sintomas depressivos em indivíduos com TAG mais depressão. |
| 17 | HALLER; KRECSAK; ZÁMBORI, 2020. | Sugerir que preparações específicas de Echinacea têm efeitos benéficos significativos sobre a ansiedade em humanos. | Ansiedade. | Foram tratados com 40 mg de Echinacea ou com comprimidos placebo duas vezes ao dia por 7 dias, seguido por um período de washout de 3 semanas. | O extrato da raiz de Echinacea angustifólia pode ser eficaz e útil em pacientes com baixo limiar e/ou leve formas de ansiedade. |

| | AUTOR/AN O | OBJETIVO | FOCO DO ESTUDO | DOSAGEM | CONCLUSÃO |
|----|-------------------------------|---|--|--|--|
| 18 | ALQUDAH <i>et al.</i> , 2023. | Avaliar os efeitos da administração de folhas de <i>Thymus vulgaris</i> na memória, ansiedade, depressão e qualidade do sono em uma amostra de estudantes universitários. | Ansiedade, depressão e sono. | Duas vezes ao dia (manhã e noite) folhas secas em pó de <i>Thymus vulgaris</i> (cápsula de 500 mg). | <i>Thymus vulgaris</i> , uma fonte alimentar tradicional, demonstrou potencial para melhorar a memória prospectiva e retrospectiva, aliviar a ansiedade e a depressão e melhorar a qualidade do sono em estudantes universitários. |
| 19 | Safari <i>et al.</i> , 2023. | Determinar a eficácia de <i>Melissa Offcinalis</i> sobre depressão, ansiedade e qualidade do sono em pacientes com diabetes tipo 2 com sintomas depressivos. | Depressão, ansiedade, e qualidade do sono. | Duas cápsulas (diariamente) contendo 350 mg de extrato hidroalcoólico em pó de <i>M. Offcinalis</i> durante 12 semanas | Reduziu o estado de depressão e ansiedade. |

Dessa forma, avaliamos os principais fitoterápicos utilizados no tratamento da ansiedade e depressão. Como resultado dessa busca, os fitoterápicos produzidos a partir do açafreão foram os mais estudados dentro dessa amostra, seguidos pelos fitoterápicos feitos com camomila e *Melissa officinalis*. Entre esses achados, não houve padronização dos protocolos de tratamento seguidos. No estudo de Lopresti e Drumond (2016), houve a utilização de curcumina e açafreão, além da curcumina isoladamente. Já no estudo de Ghajar *et al.*, (2016), o açafreão foi avaliado em comparação com o citalopram no tratamento do Transtorno Depressivo Maior (TDM). Ambos os trabalhos diferenciam-se dos estudos de Talaei *et al.*, (2015) e Lopresti *et al.*, (2018), que analisaram apenas os efeitos do açafreão.

Em continuidade, Lopresti e Drumond (2016), observaram que a curcumina pode apresentar efeitos antidepressivos e ansiolíticos em pessoas com transtorno depressivo maior. No entanto, a adição de açafreão não aumentou a eficácia do tratamento. Por outro lado, Ghajar *et al.*, (2016), observaram a segurança e a eficácia do açafreão comparado com o citalopram no tratamento do transtorno depressivo maior com angústia ansiosa.

Em outra análise, os efeitos do açafreão, particularmente da crocina, sua substância ativa, potencializaram os efeitos dos medicamentos psiquiátricos utilizados pelos indivíduos (Talaei *et al.*, 2015). Além disso, um estudo de 8 semanas utilizando extrato de açafreão em

jovens mostrou melhorias na ansiedade e na depressão, em sintomas leves a moderados (Lopresti *et al.*, 2018).

Além disso, nesta revisão foram encontrados fitoterápicos à base de camomila em duas pesquisas. Da mesma forma, a *Melissa officinalis*, estudada dois trabalhos. Em Haybar *et al.*, (2018), foi investigado em pacientes com angina estável crônica, mostrando efeitos positivos na diminuição da depressão, ansiedade, estresse e distúrbios do sono durante o período de intervenção semelhante ao estudo de Lopresti *et al.*, (2018). O outro estudou demonstrou que 700 mg de extrato hidroalcoólico das partes aéreas da *Melissa officinalis*, foi capaz de reduzir dos sintomas de depressão e ansiedade em pacientes com diabetes ao longo de 12 semanas (Safari *et al.*, 2023).

Em outra abordagem, Keefe *et al.*, (2016) investigaram o efeito do extrato de camomila de grau farmacêutico no tratamento do transtorno de ansiedade generalizada, mostrando uma relação risco/benefício mais favorável em comparação com ansiolíticos convencionais. O período de intervenção foi equivalente ao dos estudos de Lopresti *et al.*, (2018) e Haybar *et al.*, (2018). No entanto, os autores destacaram que este estudo apresentou algumas limitações.

Amsterdam *et al.*, (2020) investigaram o potencial terapêutico do extrato oral de camomila, demonstrando uma significativa redução nos sintomas depressivos em indivíduos com transtorno de ansiedade generalizada e depressão, em um período de estudo comparável ao de Keefe *et al.*, (2016), Lopresti *et al.*, (2018) e Haybar *et al.*, (2018). Contudo, os demais estudos divergiram quanto aos diversos fitoquímicos utilizados dentro desse contexto, destacando que entre eles não houve pesquisas direcionadas especificamente para a mesma planta ou fitoterápico.

Estudos indicam um aumento significativo nos índices de ansiedade e depressão em todo o mundo. Nesse contexto, uma abordagem multidisciplinar se mostra essencial, combinando tratamentos farmacológicos e não farmacológicos (Nobrega *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2020). No entanto, é crucial destacar que, embora regulamentados no Brasil, os fitoterápicos, apesar de considerados leves, podem apresentar efeitos colaterais e contraindicações, especialmente quando associados a outros depressores do sistema nervoso, lactantes, gestantes e indivíduos com condições hepáticas (Carvalho; Leite; Costa, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, diversas plantas medicinais demonstraram potencial terapêutico promissor. Embora, o açafreão, a camomila e a *Melissa officinalis* estão entre os fitoterápicos mais estudados no tratamento da ansiedade e depressão. O açafreão, em particular, mostrou-se eficaz tanto isoladamente quanto como adjuvante em tratamentos convencionais, proporcionando melhorias significativas na ansiedade e na depressão, especialmente em sintomas leves a moderados. Em suma, a pesquisa revisada enfatiza a importância dos fitoterápicos como opções terapêuticas complementares para ansiedade e depressão, oferecendo alternativas promissoras aos tratamentos convencionais, com potencial para melhorar a qualidade de vida dos pacientes.

REFERÊNCIAS

- AMSTERDAM, Jay D. *et al.* Putative antidepressant effect of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) oral extract in subjects with comorbid generalized anxiety disorder and depression. **The Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 26, n. 9, p. 815-821, 2020.
- BEUREL, Eléonore; TOUPS, Marisa; NEMEROFF, Charles B. The bidirectional relationship of depression and inflammation: double trouble. **Neuron**, v. 107, n. 2, p. 234-256, 2020.
- CARVALHO, Luzia Gomes; LEITE, Samuel da Costa; COSTA, Débora de Alencar Franco. Principais fitoterápicos e demais medicamentos utilizados no tratamento de ansiedade e depressão. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, p. e25178-e25178, 2021.
- DOBSON, Eric T. *et al.* Bridging anxiety and depression: a network approach in anxious adolescents. **Journal of affective disorders**, v. 280, p. 305-314, 2021.
- FIKSDAL, Alexander *et al.* Associations between symptoms of depression and anxiety and cortisol responses to and recovery from acute stress. **Psychoneuroendocrinology**, v. 102, p. 44-52, 2019.
- GHAJAR, Alireza *et al.* *Crocus sativus* L. versus citalopram in the treatment of major depressive disorder with anxious distress: a double-blind, controlled clinical trial. **Pharmacopsychiatry**, v. 50, n. 04, p. 152-160, 2016.
- HAYBAR, Habib *et al.* The effects of *Melissa officinalis* supplementation on depression, anxiety, stress, and sleep disorder in patients with chronic stable angina. **Clinical nutrition ESPEN**, v. 26, p. 47-52, 2018.
- KEEFE, John R. *et al.* Short-term open-label chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) therapy of moderate to severe generalized anxiety disorder. **Phytomedicine**, v. 23, n. 14, p. 1699-1705, 2016.

- KENDA, Maša *et al.* Medicinal plants used for anxiety, depression, or stress treatment: An update. **Molecules**, v. 27, n. 18, p. 6021, 2022.
- KOUBA, Bruna R. *et al.* Molecular basis underlying the therapeutic potential of vitamin D for the treatment of depression and anxiety. **International journal of molecular sciences**, v. 23, n. 13, p. 7077, 2022.
- LIU, Qingqing *et al.* Changes in the global burden of depression from 1990 to 2017: Findings from the Global Burden of Disease study. **Journal of psychiatric research**, v. 126, p. 134-140, 2020.
- LOPRESTI, Adrian L. *et al.* Affron®, a standardised extract from saffron (*Crocus sativus* L.) for the treatment of youth anxiety and depressive symptoms: a randomised, double-blind, placebo-controlled study. **Journal of affective disorders**, v. 232, p. 349-357, 2018.
- LOPRESTI, Adrian L.; DRUMMOND, Peter D. Efficacy of curcumin, and a saffron/curcumin combination for the treatment of major depression: A randomised, double-blind, placebo-controlled study. **Journal of affective disorders**, v. 207, p. 188-196, 2016.
- MARTINI, Jeremy; PATEL, Gayatri; FANCHER, Tonya L. Generalized anxiety disorder. **Annals of internal medicine**, v. 170, n. 7, p. ITC49-ITC64, 2019.
- NOBREGA, José Cândido da Silva *et al.* Plantas medicinais no tratamento de ansiedade e depressão: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e5511124024-e5511124024, 2022.
- ROBINSON, Oliver J. *et al.* The translational neural circuitry of anxiety. **Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry**, v. 90, n. 12, p. 1353-1360, 2019.
- SAFARI, Mostafa *et al.* The effects of melissa officinalis on depression and anxiety in type 2 diabetes patients with depression: a randomized double-blinded placebo-controlled clinical trial. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 23, n. 1, p. 140, 2023.
- SHOREY, Shefaly; NG, Esperanza Debby; WONG, Celine HJ. Global prevalence of depression and elevated depressive symptoms among adolescents: A systematic review and meta-analysis. **British Journal of Clinical Psychology**, v. 61, n. 2, p. 287-305, 2022.
- SILVA, Eliane Lopes Pereira *et al.* Avaliação do perfil de produção de fitoterápicos para o tratamento de ansiedade e depressão pelas indústrias farmacêuticas brasileiras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3119-3135, 2020.
- TALAEI, Ali *et al.* Crocin, the main active saffron constituent, as an adjunctive treatment in major depressive disorder: A randomized, double-blind, placebo-controlled, pilot clinical trial. **Journal of affective disorders**, v. 174, p. 51-56, 2015.

USO DO PLURÔNICO F-127 NO PREPARO DE NANOEMULSÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS E CIENTÍFICAS

USE OF PLURONIC F-127 IN THE NANOEMULSIONS PREPARATION AND TECHNOLOGICAL AND SCIENTIFIC PERSPECTIVES

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-17

Gabrielly Zappiello Oliveira¹
Guilherme Augusto Moraes de Jesus²
Ana Claudia Pedrozo da Silva³
Elton Guntendorfer Bonafé⁴
André Luiz Tessaro⁵
Rafael Block Samulewski⁶

¹ Mestranda do programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

² Doutorando em Química no Programa de Pós-Graduação em Química – Universidade Estadual de Maringá (UEM)

³ Professora e Pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Materiais Ativos (GPEMA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

⁴ Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM)

⁵ Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

⁶ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

RESUMO

O Plurônico F-127, um copolímero tribloco da família dos poloxâmeros, destaca-se na ciência dos materiais e tecnologia de formulações devido às suas propriedades anfifílicas, que permitem a formação de micelas e nanoemulsões estáveis em soluções aquosas. Com uma estrutura tipo PEO-PPO-PEO, ele consegue formar micelas em resposta a variações de temperatura e concentração, sendo valioso na liberação controlada de fármacos e outras aplicações biomédicas. A estabilidade das nanoemulsões de Plurônico F-127 depende de fatores como concentração, temperatura e pH, e estas podem encapsular compostos hidrofóbicos. Além do uso farmacêutico, onde aumenta a solubilidade e estabilidade de drogas, o Plurônico F-127 é empregado na indústria cosmética para melhorar a penetração de ingredientes ativos na pele e no cabelo, e na agricultura para formular pesticidas e fertilizantes mais eficientes. No campo

médico, ele demonstra muita utilidade na entrega de fármacos, beneficiando-se de sua biocompatibilidade e baixa toxicidade. Perspectivas futuras incluem seu uso em nanotecnologia para entrega de genes terapêuticos, biotecnologia para criação de scaffolds em engenharia de tecidos, e alimentos funcionais, visando otimizar suas formulações para ampliar sua eficácia e segurança em diversas aplicações industriais e biomédicas.

Palavras-chave: Nanoemulsões. Poloxâmero. Propriedades anfifílicas. Biocompatibilidade.

ABSTRACT

Pluronic F-127, a triblock copolymer from the poloxamer family, stands out in material science and formulation technology due to its amphiphilic properties, which allow the formation of stable micelles and nanoemulsions in aqueous solutions. With a PEO-PPO-PEO structure, it can form micelles

in response to variations in temperature and concentration, making it valuable for controlled drug delivery and other biomedical applications. The stability of Pluronic F-127 nanoemulsions depends on factors such as concentration, temperature, and pH, and they can encapsulate hydrophobic compounds. In addition to pharmaceutical use, where it enhances drug solubility and stability, Pluronic F-127 is employed in the cosmetic industry to improve the penetration of active ingredients into the skin and hair, and in agriculture to formulate more efficient pesticides

and fertilizers. In the medical field, it proves highly useful in drug delivery, benefiting from its biocompatibility and low toxicity. Prospects include its use in nanotechnology for therapeutic gene delivery, biotechnology for creating scaffolds in tissue engineering, and functional foods, aiming to optimize its formulations to further enhance its efficacy and safety in various industrial and biomedical applications.

Keywords: Nanoemulsions. Poloxamer. Amphiphilic properties. Biocompatibility

1. SURFACTANTE PLURÔNICO F-127 E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Os surfactantes plurônicos, especialmente o Plurônico F-127, têm atraído grande interesse no campo da ciência dos materiais e da tecnologia de formulações devido às suas propriedades únicas e à versatilidade em diversas aplicações. Estes surfactantes plurônicos, também conhecidos como poloxâmeros, são copolímeros tribloco que consistem em uma unidade central hidrofóbica de óxido de polipropileno (PPO) flanqueada por unidades hidrofílicas de óxido de polietileno (PEO). Esta estrutura química, representada por uma sequência PEO-PPO-PEO, confere aos plurônicos propriedades anfifílicas, permitindo sua autoagregação em soluções aquosas para formar micelas e nanoemulsões estáveis dependentes da concentração e temperatura da solução.

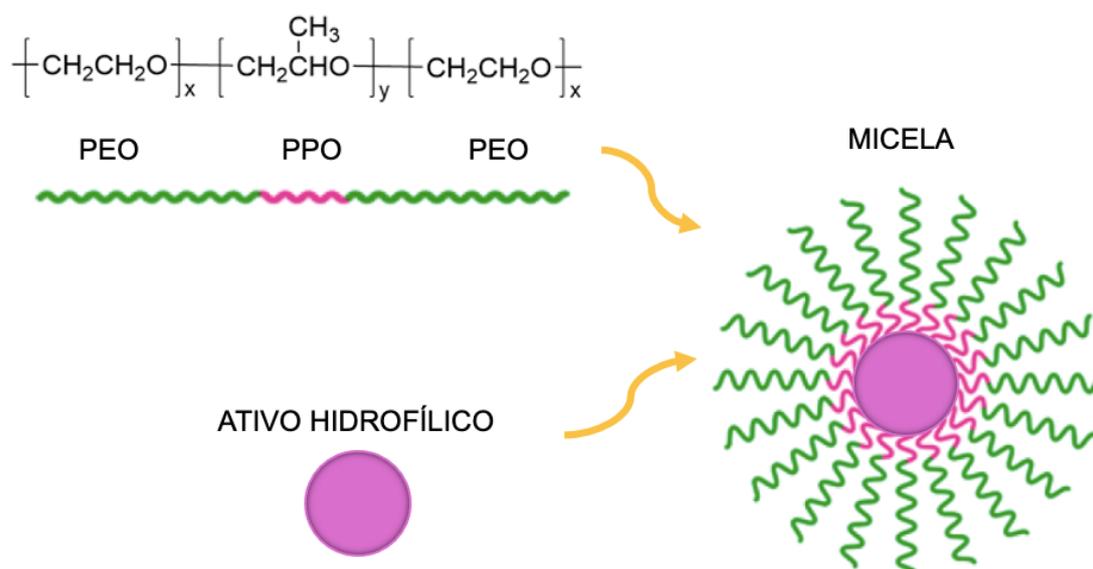
O Plurônico F-127, também conhecido como Poloxâmero 407, possui uma proporção específica de segmentos PEO e PPO que lhe confere características únicas de solubilidade e capacidade de formar estruturas micelares em diferentes condições de temperatura e concentração. A fórmula molecular geral do Plurônico F-127 pode ser representada como $PEO_m-PPO_n-PEO_m$, onde $m = 100$ e $n = 65$ representam o número de unidades repetitivas de óxido de etileno e óxido de propileno, respectivamente (ZAHARI *et al.*, 2014; WULFF-PÉREZ *et al.*, 2013; SINGLA *et al.*, 2022). Essa estrutura química permite que o Plurônico F-127 se organize espontaneamente em diferentes formas agregadas, dependendo das condições de concentração do surfactante e a temperatura da solução. A hidrofobicidade do bloco PPO e a hidrofiliabilidade dos blocos PEO são cruciais para a formação espontânea de micelas em soluções aquosas. Esta capacidade de se auto-associar em micelas e outras estruturas coloidais é amplamente explorada em diversas aplicações tecnológicas e biomédicas.

A estabilidade físico-química do Plurônico F-127 é determinada por vários fatores, incluindo sua concentração na solução, a temperatura e o pH. Devido à sua estrutura tribloco, exibe uma transição de fase temperatura-dependente, onde micelas são formadas acima de uma certa temperatura crítica de micelização (TCM). A TCM representa a temperatura acima da qual as moléculas de Plurônico F-127 começam a se associar em micelas devido à desidratação do bloco PPO. Assim como as demais propriedades físico-químicas dos plurônicos, as temperaturas críticas de micelização são diretamente influenciadas pela composição e pelo número de monômeros dos blocos PEO e PPO (WULFF-PÉREZ *et al.*, 2013). A transição de fase é um fenômeno importante que afeta a formação e a estabilidade das micelas e este comportamento é crítico para aplicações que requerem controle de temperatura, como por exemplo em sistemas *drug delivery*, onde a liberação controlada pode ser ativada por mudanças de temperatura.

A estabilidade das nanoemulsões e nanomicelas formadas com Plurônico F-127 também depende da cinética de agregação e da resistência a forças externas. Estudos demonstram que a estabilidade é mantida por longos períodos, mesmo sob condições adversas, como variações de temperatura e presença de outras substâncias químicas (LI *et al.*, 2023). Estas propriedades únicas, unidas com a estabilidade micelar, tornam o F-127 um surfactante versátil e confiável para diversas aplicações industriais e biomédicas, sendo esta capacidade de formar micelas uma de suas propriedades mais exploradas. As micelas são agregados moleculares que se formam quando a concentração do surfactante excede a Concentração Micelar Crítica (CMC). No caso dos plurônicos, a formação de micelas é guiada pela hidrofobicidade relativa do bloco PPO, que se torna a parte central da micela, enquanto os blocos PEO formam a coroa hidrofílica.

As micelas de Plurônico F-127 são caracterizadas por seu tamanho variado em função da técnica aplicada e alta estabilidade termodinâmica. O tamanho das micelas pode variar dependendo da concentração do surfactante e das condições ambientais, como temperatura e pH. Estudos demonstram que micelas de Plurônico F-127 são estáveis e podem encapsular diversos compostos hidrofóbicos, tornando-as ideais para aplicações em entrega de fármacos além de outros agentes bioativos (WULFF-PÉREZ *et al.*, 2013).

Figura 1: Estrutura química representativa dos surfactantes plurônicos e representação da formação de micela carregando ativo hidrofóbico



Fonte: Autoria Própria (2024)

Wulff-Pérez e colaboradores (2013) investigaram as propriedades reológicas das nanoemulsões estabilizadas com Plurônico F-127 e descobriram que as emulsões apresentavam comportamento gelatinoso com alta elasticidade devido à eficiente barreira estérica proporcionada pelas cadeias hidrofílicas de PEO. Essa característica é particularmente importante para aplicações farmacêuticas onde a viscosidade e a estabilidade das formulações são cruciais para a eficácia terapêutica. A formação de micelas com Plurônico F-127 é altamente dependente da cinética de agregação das moléculas de surfactante. Segundo Zaharie e colaboradores (2014), nanoemulsões formadas com Plurônico F-127 e óleo de palmiste expuseram partículas com tamanhos entre 93 e 127 nm que se mantiveram estáveis por até três meses sem alterações significativas no tamanho das gotículas. Este estudo exemplifica a eficiência do método de emulsificação utilizando técnica de alta energia para produzir nanoemulsões estáveis e homogêneas. Além disso, a capacidade do Plurônico F-127 de formar micelas reversíveis com mudanças de temperatura e concentração torna-o ideal para aplicações que requerem controle dinâmico sobre a estabilidade e a liberação de agentes ativos. A versatilidade na formação de diferentes estruturas coloidais, como micelas esféricas e bicontínuas, amplia ainda mais o leque de aplicações possíveis para este surfactante (SINGLA *et al.*, 2022).

2. ALGUMAS APLICAÇÕES DO PLURÔNICO F-127

No campo médico, as nanoemulsões e nanomicelas de Plurônico F-127 têm mostrado grande potencial como sistemas de entrega de fármacos. A capacidade de aumentar a solubilidade de drogas hidrofóbicas, protegê-las contra a degradação enzimática e proporcionar uma liberação controlada são algumas das vantagens oferecidas por esses sistemas. Estudos revelam que esses sistemas podem ser usados para administração parenteral, ocular, tópica e transdérmica, ampliando a gama de aplicações terapêuticas (SINGLA *et al.*, 2022). Lombardo e colaboradores (2013) mostraram que nanoemulsões carregadas com antibióticos e estabilizadas com Plurônico F-127 poderiam ser eficazes no tratamento de meningite e outras doenças bacterianas, proporcionando uma liberação sustentada do fármaco e melhorando a penetração no sistema nervoso central. Essa abordagem inovadora pode ser estendida para o tratamento de outras doenças infecciosas, bem como para a administração de terapias anticâncer. Outro aspecto crucial que deve ser levado em consideração é a baixa toxicidade do Plurônico F-127, que foi extensivamente estudada e documentada. Devido à sua biocompatibilidade e baixa toxicidade, o Plurônico F-127 é aprovado pela FDA (*Food and Drug Administration*) para uso em formulações farmacêuticas. Esta aprovação permite seu uso seguro em uma ampla variedade de aplicações médicas, incluindo sistemas de liberação de fármacos e formulações injetáveis, além de outras formas de aplicações em que o sistema micelar entra em contato com o corpo humano de alguma forma.

Vale destacar que as propriedades termossensíveis do Plurônico F-127 podem ser aproveitadas para criar sistemas de liberação controlada de fármacos que respondem a mudanças na temperatura corporal. Por exemplo, em formulações de géis *in situ* que se solidificam após a administração, melhorando a retenção do fármaco no local de ação e reduzindo a frequência de dosagem (MUSA, *et al.*, 2013; SINGLA *et al.*, 2022).

Este surfactante também foi utilizado em formulações de nanoemulsões para a entrega de fármacos anticâncer, como a doxorrubicina. Nanomicelas de Plurônico F-127 carregadas com doxorrubicina demonstraram uma maior eficácia terapêutica e uma menor toxicidade sistêmica em comparação com a forma livre do fármaco. Isso se deve à capacidade das micelas de aumentar a biodisponibilidade do fármaco e de direcioná-lo especificamente para células tumorais, minimizando os efeitos colaterais (PARK *et al.*, 2012, MUSA, *et al.*,

2013). Outro exemplo de aplicação médica é o uso para a entrega de fármacos anti-inflamatórios, como o diclofenaco. Estudos demonstraram que nanoemulsões de F-127 carregadas com diclofenaco proporcionam uma liberação sustentada do fármaco, resultando em uma ação anti-inflamatória prolongada e uma redução nos efeitos colaterais gástricos típicos dos anti-inflamatórios não esteroidais (LI *et al.*, 2023).

Em outro exemplo, de Devarnejad *et al.* (2022) destacou o uso desse plurônico em formulações de nanopartículas lipídicas contendo quercetina, onde foi observada uma liberação controlada e proteção do ativo, melhorando sua estabilidade e biodisponibilidade. Esse estudo reforça a aplicação do Plurônico F-127 em sistemas de liberação de fármacos que necessitam de proteção e liberação prolongada.

Na indústria cosmética, as nanoemulsões estabilizadas com Plurônico F-127 são valorizadas por sua capacidade de melhorar a penetração de ingredientes ativos na pele e por sua estabilidade física. Essas propriedades são cruciais para a eficácia dos produtos de cuidados com a pele e cabelo, onde a uniformidade e estabilidade das emulsões são essenciais para a qualidade do produto (SASOUNIAN *et al.* 2024, 2024; PATRAVALI *et al.*, 2008). No estudo de Zahari e colaboradores (2014), as nanoemulsões formadas com óleo de palmiste e Plurônico F-127 mostraram excelente estabilidade e distribuição uniforme das gotículas, o que é desejável para produtos cosméticos. A capacidade de encapsular ingredientes ativos e liberá-los de forma controlada melhora a eficácia dos tratamentos tópicos, reduzindo a irritação e aumentando a hidratação da pele. A aprovação do uso pela FDA possibilitou seu uso em formulações sensíveis, como produtos para cuidados faciais e capilares, garantindo que os produtos sejam eficazes e seguros para os consumidores (SASOUNIAN *et al.* 2024).

Além disso, a capacidade do Plurônico F-127 de formar emulsões transparentes e de baixa viscosidade é altamente desejável em formulações de cosméticos como soros e loções. Esses produtos se beneficiam da rápida absorção e sensação não oleosa proporcionada pelas nanoemulsões estabilizadas com Plurônico (LI *et al.*, 2023). Um exemplo específico de aplicação cosmética é o uso do Plurônico F-127 em formulações de protetores solares. A incorporação de Plurônico F-127 em nanoemulsões contendo filtros UV aumenta a estabilidade do produto e melhora a uniformidade da aplicação, proporcionando uma proteção mais eficaz contra a radiação ultravioleta. A capacidade do surfactante Plurônico de formar um filme uniforme na pele ajuda a reduzir a perda de água transepidérmica, melhorando a hidratação da pele (MCCLEMENTS *et al.*, 2023, LI *et al.*, 2023).

Mais um exemplo de propriedades do Plurônico F-127 essenciais em formulações cosméticas é o uso em produtos anti-envelhecimento. As nanoemulsões de Plurônico F-127 podem ser utilizadas para encapsular e liberar de forma controlada ingredientes ativos, como retinol, peptídeos e vitamina E, que são conhecidos por suas propriedades de rejuvenescimento da pele. Esta abordagem melhora a penetração dos ativos nas camadas mais profundas da pele, aumentando sua eficácia e reduzindo o potencial de irritação (PATRAVALE, MANDAWGADE, 2008).

Patravale e Mandawgade (2008) também destacaram a aplicação do Plurônico F-127 em sistemas de entrega de ativos cosméticos, onde a capacidade de formar micelas e nanoemulsões melhora a solubilidade e a estabilidade dos ingredientes ativos, aumentando a eficácia dos produtos cosméticos.

Na agricultura, o Plurônico F-127 é explorado na formulação de pesticidas e fertilizantes em forma de nanoemulsões, que melhoram a dispersão dos ingredientes ativos e a absorção pelas plantas. A estabilidade em diferentes condições ambientais torna-o uma opção atraente para aplicações agrícolas, onde a eficiência e a estabilidade dos produtos também são fundamentais (BHANDARI et al., 2023). Estes estudos recentes apresentam o uso de Plurônico F-127 para melhorar a eficiência dos agroquímicos a fim de promover a formação de nanoemulsões estáveis com o surfactante, o que acaba por aumentar a eficácia dos pesticidas, reduzindo a quantidade necessária para obter os mesmos efeitos, e que, conseqüentemente, diminui o impacto ambiental e os custos para os agricultores.

Kalia e colaboradores (2020) mostraram que as nanoemulsões de Plurônico F-127 podem ser usadas para encapsular e liberar de forma controlada fertilizantes, proporcionando uma nutrição mais eficiente para as plantas e reduzindo a lixiviação de nutrientes no solo. Isso não só melhora a produtividade agrícola, mas também contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis. Exemplos específicos de pesticidas que podem ser usados incluem o clorpirifós e a deltametrina, enquanto fertilizantes como nitrato de amônio e fosfato de potássio podem ser eficientemente entregues usando nanoemulsões de Plurônico F-127 (KALIA *et al.*, 2020).

Um estudo sobre o uso de Plurônico F-127 para encapsular o clorpirifós demonstrou que as nanoemulsões resultantes apresentaram possibilidade de liberação controlada do pesticida, o que levou a uma maior eficácia na eliminação de pragas e a uma redução na quantidade total de pesticida necessária. Este tipo de formulação é muito importante para aumentar a eficiência do pesticida e a diminuição dos custos na agricultura, mas

consequentemente acaba reduzindo o impacto ambiental associado ao uso excessivo de agroquímicos (KALIA *et al.*, 2020).

Nanoemulsões contendo nitrato de amônio e estabilizadas com Plurônico F-127 demonstraram uma liberação prolongada dos nutrientes, resultando em uma absorção mais eficiente pelas plantas e uma redução na lixiviação de nitratos no solo. Esta abordagem não só aumenta a eficiência dos fertilizantes, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental ao reduzir a poluição por nitratos (SGHUIER *et al.*, 2024). Nanoemulsões de Plurônico F-127 contendo o herbicida glifosato, um dos herbicidas mais utilizados no Brasil e que comprovadamente é danoso para a saúde humana, demonstraram uma liberação prolongada e controlada do ativo, resultando em uma maior eficácia no controle de ervas daninhas e uma menor necessidade de aplicação repetida. (BHANDARI *et al.*, 2023). Do Carmo Silva e colaboradores (2020) exploraram a aplicação de nanoemulsões de Plurônico F-127 em fungicidas, onde também foi observada uma melhora significativa na eficácia dos tratamentos devido à melhor penetração e liberação controlada dos agentes fungicidas. Isso demonstra o potencial do Plurônico F-127 em melhorar a eficiência de diversos agroquímicos.

3. PERSPECTIVAS FUTURAS

As perspectivas futuras para os sistemas micelares utilizando Plurônico F-127 são promissoras e são focadas em otimizar as formulações para melhorar ainda mais a estabilidade, eficácia e segurança dos produtos formulados. Além disso, novas aplicações estão sendo exploradas, incluindo a entrega de terapias genéticas e a utilização em biotecnologia e nanotecnologia. A capacidade de modular as propriedades físico-químicas do Plurônico F-127 para atender a necessidades específicas de diferentes indústrias abre um vasto campo de possibilidades para inovação e desenvolvimento (PJ *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2022).

Por exemplo, PJ e colaboradores (2022) propuseram o uso de Plurônico F-127 na formulação de nanomicelas para entrega de RNA, mostrando que essas estruturas são altamente eficazes na proteção do material genético e na promoção de sua liberação em células-alvo. Este avanço abre novas possibilidades para terapias gênicas e vacinas de RNA, que são áreas de intenso interesse e pesquisa.

A integração de Plurônico F-127 com outras tecnologias emergentes, como a impressão 3D de biomateriais e a criação de scaffolds para engenharia de tecidos, também

está sendo investigada. Essas abordagens inovadoras podem revolucionar a maneira como tratamentos médicos e produtos cosméticos são desenvolvidos e administrados (SHAMMA *et al.*, 2022). A nanotecnologia, por exemplo, se beneficia grandemente das propriedades únicas do Plurônico F-127. Nanopartículas de Plurônico F-127 estão sendo desenvolvidas para a entrega de genes terapêuticos, onde a capacidade de formar micelas e nanomicelas permite a proteção e a liberação controlada de ácidos nucleicos em células específicas. Este avanço é crucial para o desenvolvimento de novas terapias genéticas que podem tratar doenças hereditárias e outras condições médicas complexas (PJ *et al.*, 2022).

Outro campo promissor é a utilização de Plurônico F-127 em biotecnologia para a criação de scaffolds biocompatíveis usados em engenharia de tecidos. Esses scaffolds, construídos com Plurônico F-127 e outros biomateriais, podem ser usados para regenerar tecidos danificados, promovendo a cicatrização de feridas e a reparação de órgãos, uma vez que a capacidade do Plurônico F-127 de formar estruturas estáveis e biocompatíveis já é destacada (WULFF-PÉREZ *et al.*, 2013).

McClements (2012) destacou a aplicação de nanoemulsões de Plurônico F-127 em alimentos funcionais, onde a capacidade de encapsular e proteger ingredientes bioativos, como vitaminas e antioxidantes, melhora a estabilidade e a biodisponibilidade desses nutrientes. Este avanço pode levar a novos produtos alimentícios funcionais com benefícios à saúde aprimorados.

Neste breve texto foi possível demonstrar que o uso do Plurônico F-127 no preparo de nanoemulsões e nanomicelas oferece diversas perspectivas promissoras nas áreas médica, cosmética e agrícola. Sua capacidade de formar sistemas estáveis e eficazes, combinada com sua versatilidade de aplicação, torna-o uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de novas formulações tecnológicas e científicas. A pesquisa contínua e a exploração de novas aplicações garantirão que o Plurônico F-127 continue a ser um componente crucial em avanços futuros.

REFERÊNCIAS

BHANDARI, Geeta *et al.* A perspective review on green nanotechnology in agro-ecosystems: opportunities for sustainable agricultural practices & environmental remediation. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 668, 2023.

- DAVARNEJAD, Reza et al. Encapsulation of quercetin in a mixed Nanomicellar system to enhance its cytotoxicity against breast cancer cells. **Chemical Engineering & Technology**, v. 45, n. 6, p. 1100-1105, 2022.
- DO CARMO SILVA, Livia et al. Antifungal activity of Copaíba resin oil in solution and nanoemulsion against *Paracoccidioides* spp. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 51, p. 125-134, 2020.
- KALIA, Anu et al. Novel nanocomposite-based controlled-release fertilizer and pesticide formulations: Prospects and challenges. **Multifunctional hybrid nanomaterials for sustainable agri-food and ecosystems**, p. 99-134, 2020.
- LI, Shanshan et al. Progress in pluronic F127 derivatives for application in wound healing and repair. **International Journal of Nanomedicine**, p. 4485-4505, 2023.
- LOMBARDO, Rosamaria et al. Nanotechnologies for intranasal drug delivery: an update of literature. **Pharmaceutical development and technology**, v. 26, n. 8, p. 824-845, 2021.
- MCCLEMENTS, David Julian. Advances in edible nanoemulsions: Digestion, bioavailability, and potential toxicity. **Progress in lipid research**, v. 81, p. 101081, 2021.
- MUSA, Siti Hajar et al. Formulation optimization of palm kernel oil esters nanoemulsion-loaded with chloramphenicol suitable for meningitis treatment. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 112, p. 113-119, 2013.
- PARK, Shinyoung et al. Pluronic@ Fe₃O₄ nanoparticles with robust incorporation of doxorubicin by thermo-responsiveness. **International journal of pharmaceutics**, v. 424, n. 1-2, p. 107-114, 2012.
- PATRAVALE, Vandana B.; MANDAWGADE, S. D. Novel cosmetic delivery systems: an application update. **International journal of cosmetic science**, v. 30, n. 1, p. 19-33, 2008.
- PJ, Rose Jaquilin et al. Recent advances in drug delivery nanocarriers incorporated in temperature-sensitive Pluronic F-127—A critical review. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 72, p. 103390, 2022.
- SASOUNIAN, Rafaela et al. Innovative approaches to an eco-friendly cosmetic industry: a review of sustainable ingredients. **Clean Technologies**, v. 6, n. 1, p. 176-198, 2024.
- SGHIER, Kamil et al. Novel therapeutic hybrid systems using hydrogels and nanotechnology: a focus on nanoemulgels for the treatment of skin diseases. **Gels**, v. 10, n. 1, p. 45, 2024.
- SHAMMA, Rehab N. et al. Triblock copolymer bioinks in hydrogel three-dimensional printing for regenerative medicine: A focus on pluronic F127. **Tissue Engineering Part B: Reviews**, v. 28, n. 2, p. 451-463, 2022.

- SINGLA, Pankaj et al. Advances in the therapeutic delivery and applications of functionalized Pluronic: A critical review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 299, p. 102563, 2022.
- WULFF-PÉREZ, Miguel et al. The effect of polymeric surfactants on the rheological properties of nanoemulsions. **Colloid and Polymer Science**, v. 291, p. 709-716, 2013.
- ZAHARI, Noor Izah et al. The palm kernel oil ester nanoemulsion system using pluronic F-127 as a polymeric surfactant via a high energy emulsification method. **Journal of Oil Palm Research**, v. 26, n. 2, p. 120-124, 2014.

CAPÍTULO XVIII

POTENCIAL DO HIDROGENIO VERDE NO PIAUÍ: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

THE POTENTIAL OF GREEN HYDROGEN IN PIAUÍ: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-18

Maycon Araújo dos Santos¹

Kaic Oliveira Mota²

Ivo Nunes Silva³

Jesualdo Silva Filho⁴

Antonio Gabriel Rodrigues da Costa⁵

Luzia Rodrigues dos Santos⁶

Juan de Aguiar Gonçalves⁷

¹ Graduado do curso de licenciatura plena em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

² Graduando do curso de Licenciatura Plena em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

³ Graduando do curso de Licenciatura Plena em Física. Universidade estadual do Piauí – UESPI

⁴ Graduando do curso Tecnólogo em Energias Renováveis. Núcleo de Formação e Pesquisa em Energias Renováveis do Piauí - NUFPERPI

⁵ Mestrando em Química. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Piauí – PPGQ-UESPI

⁶ Mestrando em Química. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Piauí – PPGQ-UESPI

⁷ Coordenador. Núcleo de Formação e Pesquisa em Energias Renováveis do Piauí – NUFPERPI

RESUMO

O estado do Piauí, localizado no Nordeste brasileiro, possui potencial para produção de hidrogênio (H₂) de forma limpa e renovável por meio da utilização de fontes renováveis de energia como solar e eólica, o H₂ produzido dessa forma é conhecido como hidrogênio verde. Por conta disso, este trabalho revisa a literatura sobre o potencial do Piauí para a produção de H₂ verde, abordando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que sustentam essa perspectiva promissora. Desse modo, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica em bases de dados como Google Acadêmico, SciElo, Scopus e Periódicos CAPES sobre trabalhos publicados com o intervalo de 10 anos de pesquisa que tratam do potencial do hidrogênio verde no Piauí. Para tal, foram selecionados trabalhos com base na identificação das condições favoráveis no estado para a geração de energia renovável, a viabilidade técnica e econômica da produção de hidrogênio verde, os possíveis impactos ambientais e sociais, e as políticas públicas e incentivos necessários para a implementação dessa tecnologia, com base nisso, alguns trabalhos

foram pesquisados e filtrados, sendo também consultados publicações governamentais, relatórios de organizações não governamentais, documentos de instituições de pesquisa e artigos de periódicos especializados.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde. Piauí. Energia Renovável. Nordeste do Brasil. Energia Limpa.

ABSTRACT

The state of Piauí, located in northeastern Brazil, has the potential to produce hydrogen (H₂) in a clean and renewable way through the use of renewable energy sources such as solar and wind power; the H₂ produced in this way is known as green hydrogen. This paper therefore reviews the literature on Piauí's potential for producing green H₂, looking at the technical, economic, environmental and social aspects that underpin this promising prospect. In this way, this paper seeks to present a bibliographic review in databases such as Google Scholar, SciElo, Scopus and CAPES Journals about works published between 2019 and 2024 that deal with the potential of green hydrogen in Piauí.

To this end, papers were selected based on the identification of favourable conditions in the state for the generation of renewable energy, the technical and economic viability of green hydrogen production, the possible environmental and social impacts, and the public policies and incentives needed to implement this technology. Based on this, some papers were searched and filtered, and

government publications, reports from non-governmental organizations, documents from research institutions and articles from specialized journals were also consulted.

Keywords: Green Hydrogen. Piauí. Renewable Energy. Northeast Brazil. Clean Energy.

1. INTRODUÇÃO

O Piauí, no Nordeste do Brasil, está se destacando como um potencial centro de produção de hidrogênio verde, uma fonte de energia limpa e renovável (Dos Santos, 2023). O hidrogênio verde é produzido através da eletrólise da água, utilizando eletricidade de fontes renováveis como a energia solar e eólica, evitando a emissão de gases de efeito estufa (Silva, 2023). Este trabalho revisa a literatura sobre o potencial do Piauí para a produção de hidrogênio verde, abordando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que sustentam essa perspectiva promissora.

A região Nordeste do Brasil é conhecida por suas condições favoráveis para a geração de energia solar e eólica. No Piauí, essas condições são ainda mais destacadas devido ao alto índice de radiação solar e ventos constantes, especialmente no litoral e no semiárido (Lima, 2018). Estudos indicam que o estado possui um dos maiores potenciais de energia solar do país, com uma irradiância média diária superior a 5,5 kWh/m². Além disso, os projetos de energia eólica na região apresentam um fator de capacidade elevado, frequentemente superando 40%, superior à média global (Campêlo 2016).

Integrar essas fontes de energia renovável com a produção de hidrogênio verde representa uma oportunidade estratégica para o Piauí. A eletrólise da água, processo pelo qual o hidrogênio é produzido, requer grandes quantidades de eletricidade que, se fornecidas por fontes renováveis, resultam em um produto com pegada de carbono quase nula. A viabilidade técnica e econômica dessa integração é objeto de diversos estudos, que avaliam a eficiência dos processos envolvidos, a infraestrutura necessária e os impactos na rede elétrica local (De Nobrega 2022). Do ponto de vista econômico, a produção de hidrogênio verde no Piauí pode impulsionar o desenvolvimento regional. A criação de um novo setor industrial focado na produção e exportação de hidrogênio verde pode gerar empregos, atrair investimentos e diversificar a economia local, tradicionalmente dependente da agricultura e do setor de serviços (Azevedo, 2023). Além disso, o hidrogênio verde pode transformar o Piauí

em um hub energético, capaz de exportar energia limpa para outras regiões do Brasil e para o mercado internacional, que está cada vez mais demandante por soluções energéticas sustentáveis.

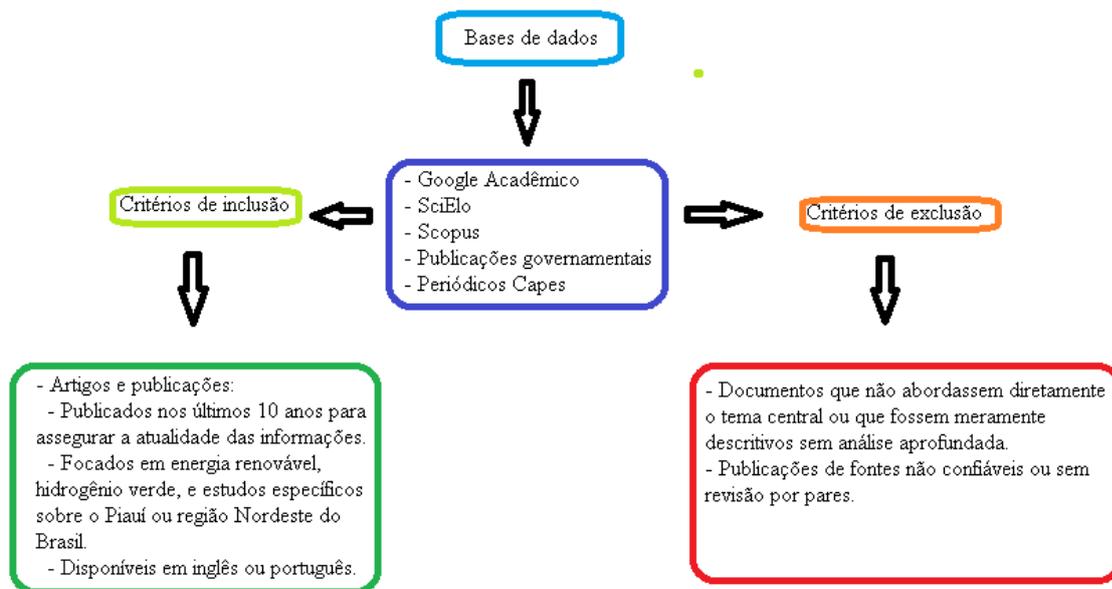
O aspecto ambiental também é crucial na produção de hidrogênio verde no Piauí. A substituição de combustíveis fósseis por hidrogênio verde pode contribuir significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas nacionais e internacionais de mitigação das mudanças climáticas. A literatura indica que, além de não emitir CO₂ durante sua produção, o hidrogênio verde pode ser utilizado em diversos setores, como transporte e indústria, para substituir fontes de energia mais poluentes, promovendo uma matriz energética mais limpa e sustentável (De Meira Gusmão,2024).

A produção de hidrogênio verde também apresenta desafios, que vão desde a necessidade de investimentos em tecnologia e infraestrutura até questões regulatórias e de mercado. Estudos destacam a importância de políticas públicas e incentivos governamentais para viabilizar a cadeia produtiva do hidrogênio verde (Fernandes,2023). O governo do Piauí tem demonstrado interesse em fomentar esse setor por meio de parcerias com a iniciativa privada e instituições de pesquisa, criando um ambiente propício para o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde (Pinheiro, 2024).

A transição para uma economia de baixo carbono deve ser inclusiva e equitativa, garantindo que os benefícios econômicos e ambientais sejam amplamente distribuídos (Santos,2021). A literatura sugere que a capacitação da mão-de-obra local e a inclusão das comunidades nas decisões sobre os projetos são essenciais para o sucesso e a sustentabilidade desses empreendimentos (Bezerra,2023). A produção de hidrogênio verde pode, portanto, representar não apenas um avanço tecnológico e econômico, mas também uma oportunidade para promover o desenvolvimento sustentável e inclusivo no Piauí.

2. METODOLOGIA

A metodologia desta revisão bibliográfica sobre o potencial de produção de hidrogênio verde no Piauí foi estruturada pelas seguintes etapas visando garantir a abrangência sobre o tema, análise e síntese das informações disponíveis. A seguir, descrevem-se as principais etapas da metodologia adotada:



Fonte: Autoria própria, 2024.

2.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA E OBJETIVOS

Inicialmente, foi realizada a delimitação do tema da pesquisa, focando especificamente no potencial de produção de hidrogênio verde no Piauí. Definiram-se os objetivos da revisão, que incluíram a identificação das condições favoráveis no estado para a geração de energia renovável, a viabilidade técnica e econômica da produção de hidrogênio verde, os possíveis impactos ambientais e sociais, e as políticas públicas e incentivos necessários para a implementação dessa tecnologia.

2.2. DEFINIÇÃO DAS FONTES DE PESQUISA

Para a coleta de dados, foram selecionadas diversas bases de dados acadêmicas e científicas, incluindo Google Acadêmico, SciELO, Scopus e Periódicos CAPES. Além disso, foram consultadas publicações governamentais, relatórios de organizações não governamentais, documentos de instituições de pesquisa e artigos de periódicos especializados. Esta variedade de fontes garantiu uma visão ampla e diversificada sobre o tema.

2.3. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os seguintes critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos documentos a serem analisados foram estabelecidos. Os critérios de inclusão envolveram artigos e publicações:

- Publicados nos últimos 10 anos para assegurar a atualidade das informações.
- Focados em energia renovável, hidrogênio verde, e estudos específicos sobre o Piauí ou região Nordeste do Brasil.

- Disponíveis em inglês ou português.

2.3.1. Os critérios de exclusão abrangeram:

- Documentos que não abordassem diretamente o tema central ou que fossem meramente descritivos sem análise aprofundada.
- Publicações de fontes não confiáveis ou sem revisão por pares.

2.4. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada através de uma pesquisa sistemática nas bases de dados selecionadas. Utilizaram-se palavras-chave como "hidrogênio verde", "Piauí", "energia renovável", "energia solar", "energia eólica", "eletrólise", "potencial de produção" e combinações dessas expressões. Os resultados das pesquisas foram organizados e filtrados conforme os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

2.5. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados foram analisados qualitativamente através de uma leitura crítica e comparativa das publicações selecionadas. Foram identificados e categorizados os principais temas e tendências abordados na literatura, tais como:

- Potencial de geração de energia solar e eólica no Piauí.
- Viabilidade técnica da produção de hidrogênio verde.
- Análise econômica dos investimentos necessários.
- Impactos ambientais e benefícios associados à redução de emissões de gases de efeito estufa.
- Desafios e oportunidades para a implementação da produção de hidrogênio verde no estado.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, os temas abordados configuram uma linha de pesquisa de potencial ao estudo da produção de energia; para elaboração de estudos que possam explorar novos conceitos para energia limpa na região Nordeste do Brasil, em específico, no estado do Piauí. As análises descritas neste trabalho evidenciam a grande importância das= busca por novas atividades energéticas que são produtos de fontes limpas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da metodologia inserida neste trabalho, é possível exemplificar o tratamento de acordo com o Quadro 1 onde há uma pequena amostra do objeto de estudo diante de todo o exposto já citado.

Quadro 1: Publicações de artigos de acordo com a metodologia deste trabalho

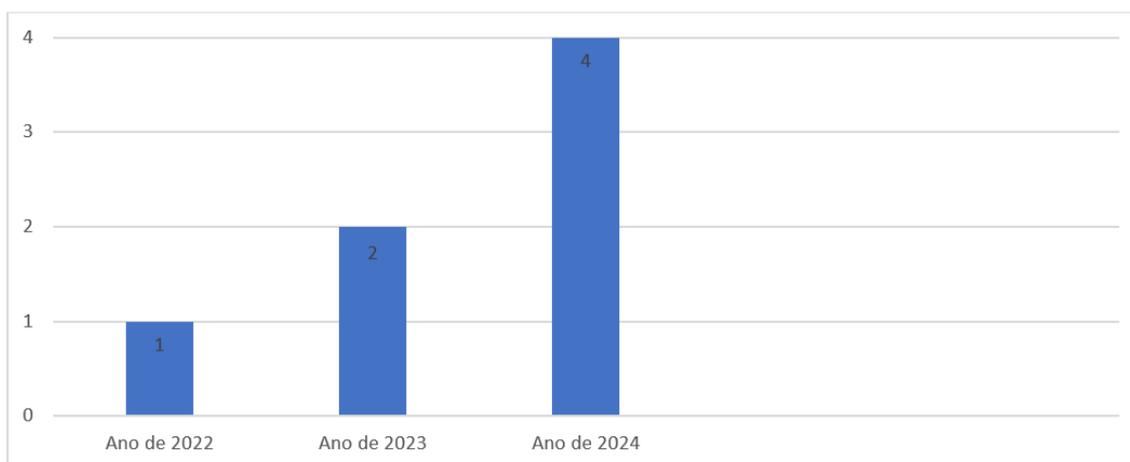
| TÍTULO | REFERÊNCIA | OBJETIVO |
|--|------------------------------------|---|
| O hidrogênio verde como alternativa para a transição energética e a importância do Brasil neste cenário | MARAFON; JUNIOR; VASCONCELOS, 2023 | Enfatizar a questão das políticas públicas na utilização do hidrogênio verde |
| Hidrogênio Verde: uma revisão de processos de produção do hidrogênio oriundos de fontes renováveis de energia | DE NÓBREGA et al., 2022 | Analisar o uso de hidrogênio verde com foco na utilização como combustível |
| Oportunidades e desafios da utilização do hidrogênio verde na transição energética brasileira | Madruça, 2023 | Abordar os desafios para inserir o hidrogênio verde como fonte energética |
| O hidrogênio verde: principais perspectivas no cenário energético brasileiro | Leão, 2023 | Identificar o uso do hidrogênio verde como ação benéfica |
| Hidrogênio verde: seu papel estratégico na transição energética | Garcia, 2024 | Salientar a utilização do hidrogênio verde como vantajosa na transição energética |
| Energias Renováveis na Ótica da Sustentabilidade para a Competitividade Portuária: Hidrogênio Verde e o Hub de Pecém | De Almeida et al., 2023 | Buscar soluções para os desafios que são discutidos sobre a implementação do hidrogênio verde |
| Sustentabilidade e inovação: o papel das células à combustível de hidrogênio na transição energética brasileira | Leal, 2023 | Enfatizar a matriz do hidrogênio verde em seu uso |

Fonte: Autoria própria, 2024

Assim, faz-se mister, ainda, salientar que a partir do Quadro 1 mostrando resultados qualitativos diante da revisão bibliográfica, pois fornece estudos de acordo com cada perspectiva que são inseridas no objetivo central de estudo, fazendo-se necessário as ideias e perspectivas que são estabelecidas consoante novas formas e aplicações da produção de hidrogênio verde, aplicações e políticas inseridas para a transição energia, além de fornece

dados sobre vantagens e desvantagens, assim como problemáticas para o seu uso na sociedade contemporânea e em um futuro próximo. Ademais, sendo possível traçar um novo objeto de estudo em relação quantitativa sobre a data de publicação dos artigos citados no Quadro 1, fornecido pelo Gráfico 1. Dessa maneira, criando uma fonte de citação de uma revisão bibliográfica que vai de acordo com o título do projeto.

Gráfico 1: Análise quantitativas das publicações



Fonte: Autoria própria, 2024

Assim sendo, o gráfico 1 demonstra publicações mais elevadas no período do ano de 2024, observa-se que pelos anos de publicação, torna-se cada vez mais necessário o fornecimento de novas informações para ampliação do hidrogênio no verde na humanidade, pois há uma progressão de interesse, conforme as publicações e discussões sobre hidrogênio verde, na produção desse novo dispositivo energético.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, João Vitor de Freitas. Estudo dos impactos de instalação de unidades de produção de hidrogênio verde. 2023.
- BARROSO, Amanda Maria Rodrigues et al. Obtenção do Hidrogênio Verde a partir de energias renováveis. 2022.
- BEZERRA, Francisco Diniz. OPORTUNIDADE PARA O NORDESTE. Caderno Setorial ETENE, v. 8, 2023.
- BRAND, Martha Andreia et al. Caracterização da vegetação da caatinga do sul do Piauí para geração de energia. *Floresta*, v. 45, n. 3, p. 477-486, 2015.

- CAMPÊLO, Jaerle Rodrigues. Energias Renováveis e Sustentabilidade: um olhar geográfico para o parque eólico de Marcolândia, estado do Piauí, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 904-912, 2016.
- CARVALHO, Julia Finamor; GARCIA, José Victor da Silva. Hidrogênio verde: estudo de caso do Brasil. 2022.
- DE ALMEIDA, Mateus Araujo et al. Energias Renováveis na Ótica da Sustentabilidade para a Competitividade Portuária: Hidrogênio Verde e o Hub de Pecém. **Advances in Global Innovation & Technology**, v. 2, n. 1, p. 06-16, 2023.
- DE JESUS, Victor Augusto Araújo et al. GEOPOLÍTICA DO PIAUÍ: NOVOS PONTOS ESTRATÉGICOS E OS SEGMENTOS DA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO SEMIÁRIDO. **Anais do Seminário Regional de Políticas e Sustentabilidade (SERPS)**, v. 1, p. 75-83, 2023.
- DE MEIRA GUSMÃO, Gustavo Oliveira et al. HIDROGÊNIO VERDE: UMA REVISÃO. Ciência, tecnologia e inovação: tendências e desafios para o desenvolvimento científico e tecnológico.
- DE NÓBREGA, Mariana Furtado Ribeiro et al. Hidrogênio Verde: uma revisão de processos de produção do hidrogênio oriundos de fontes renováveis de energia. **Natural Resources**, v. 12, n. 2, p. 75-85, 2022.
- DOS SANTOS, Caroline Alves; MENDES, Lorena Veras. O DISCURSO DECLARADO DO PIAUÍ COMO PROTAGONISTA NO SETOR DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA. SUSTENTABILIDADE, p. 86.
- FERNANDES, Gláucia et al. Panorama dos desafios do hidrogênio verde no Brasil. 2023.
- GARCIA, Gessika da Silva. Hidrogênio verde: seu papel estratégico na transição energética. 2024.
- LEAL, José Adriel da Silva. **Sustentabilidade e inovação: o papel das células à combustível de hidrogênio na transição energética brasileira**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.
- LEÃO, Matheus Marcondes de Oliveira. O hidrogênio verde: principais perspectivas no cenário energético brasileiro. 2023.
- LIMA, Ana Carolina Oliveira. Hidrogênio verde: principais perspectivas do cenário energético no Nordeste brasileiro. 2023.
- LIMA, Juliane Batista Lima Batista; DE AGUIAR GONÇALVES, Juan. Análise Comparativa de Performance entre Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede instalados no Piauí e na Europa através de Índices De Mérito. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

- MADRUGA, Marciúle Gorgonio Coutinho. **Oportunidades e desafios da utilização do hidrogênio verde na transição energética brasileira**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- MARAFON, Renata; JUNIOR, Roberto Miyashiro; VASCONCELOS, Priscila Elise Alves. O HIDROGÊNIO VERDE COMO ALTERNATIVA PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A IMPORTÂNCIA DO BRASIL NESTE CENÁRIO. **Revista Direito das Políticas Públicas**, v. 5, n. 1, 2023.
- PINHEIRO, Bruno; ARRAIS, Lucrécio. **Piauí terá a maior planta de energia solar do Brasil para produção de hidrogênio verde**. Disponível em: <<https://www.pi.gov.br/noticia/piaui-tera-a-maior-planta-de-energia-solar-do-brasil-para-producao-de-hidrogenio-verde>>. Acesso em: [16/06/2024].
- SANTOS, Vitor Manuel. O papel do hidrogênio na transição energética mundial e seus desdobramentos no sistema energético brasileiro. **A geopolítica da energia do século XXI**, 2021.
- SILVA, Ana Rafaela Luz. Hidrogênio verde e o ensino da eletrólise a partir de uma revisão bibliográfica. 2023.

CAPÍTULO XIX

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ANÁLISE DOS EFEITOS SOCIOAMBIENTAIS E TENDÊNCIAS FUTURAS

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: ANALYSIS OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND FUTURE TRENDS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-19

Luís Felipe de Oliveira Barros ¹

Maria José de Holanda Leite ²

Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto ³

Mayara Andrade Souza ⁴

¹ Engenheiro de Energia, Maceió, Alagoas.

² Doutora em Ciências Florestais, Professora do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Pau dos Ferros, RN.

³ Doutora em Ciências Florestais, Professora da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA), Rio Largo, Alagoas

⁴ Doutora em Agronomia, Professora do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais, Cesmac.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica desempenha um papel crucial na transição para fontes de energia mais sustentáveis, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de fontes fósseis. Este trabalho tem como objetivo analisar o crescimento da energia solar fotovoltaica no cenário global e no Brasil, com foco específico em Alagoas. A energia solar fotovoltaica tem se expandido significativamente, com a capacidade global instalada alcançando cerca de 850.000 MW em 2021, sendo a Ásia o principal líder desse crescimento. No Brasil, a energia solar está se tornando uma parte crescente da matriz energética, especialmente após a implementação de políticas como a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, que incentiva a geração distribuída. No estado de Alagoas, a alta irradiação solar oferece um grande potencial para a geração de energia fotovoltaica. Em 2021, o estado tinha uma capacidade instalada de 71 MW, com 25 MW concentrados em Maceió. Incentivos fiscais, como a isenção de ICMS, têm impulsionado o crescimento da energia solar na região. A instalação de sistemas fotovoltaicos tem proporcionado benefícios significativos, incluindo redução dos custos com energia, menor impacto ambiental comparado a fontes tradicionais e estímulo econômico local, com a criação de empregos e dinamização do comércio. Contudo, a implantação desses sistemas pode também acarretar impactos negativos, como

alterações no meio físico e no ecossistema local durante a construção e operação. É importante realizar avaliações de impacto ambiental detalhadas para mitigar esses efeitos adversos. Recomenda-se a continuidade na expansão da capacidade instalada, o investimento em pesquisa e desenvolvimento para aumentar a eficiência e a redução dos impactos ambientais, e a promoção de educação e conscientização sobre a importância da energia solar. Essas ações podem maximizar os benefícios da energia solar fotovoltaica, promovendo uma matriz energética mais sustentável e eficiente.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Tecnologia, Inovação.

ABSTRACT

Solar photovoltaic energy plays a crucial role in the transition to more sustainable energy sources, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions and decreasing dependence on fossil fuels. This paper aims to analyze the growth of solar photovoltaic energy in the global scenario and in Brazil, with a specific focus on Alagoas. Solar photovoltaic energy has expanded significantly, with global installed capacity reaching around 850,000 MW in 2021, with Asia leading this growth. In Brazil, solar energy is becoming a growing part of the energy matrix, especially after the

implementation of policies such as ANEEL Normative Resolution No. 482/2012, which encourages distributed generation. In the state of Alagoas, high solar irradiation offers great potential for photovoltaic energy generation. In 2021, the state had an installed capacity of 71 MW, with 25 MW concentrated in Maceió. Tax incentives, such as the ICMS exemption, have driven the growth of solar energy in the region. The installation of photovoltaic systems has provided significant benefits, including reduced energy costs, lower environmental impact compared to traditional sources, and local economic stimulus, with job creation and commerce. However, the implementation of these systems can also lead to negative impacts, such as changes to the physical

environment and local ecosystem during construction and operation. It is important to conduct detailed environmental impact assessments to mitigate these adverse effects. It is recommended that the installed capacity be continued to be expanded, that investment in research and development to increase efficiency and reduce environmental impacts, and that education and awareness about the importance of solar energy be promoted. These actions can maximize the benefits of photovoltaic solar energy, promoting a more sustainable and efficient energy matrix.

Keywords: Sustainability, Technology, Innovation.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem emergido como uma das principais soluções para a transição energética global, prometendo uma alternativa limpa e renovável à queima de combustíveis fósseis. A capacidade de converter diretamente a luz solar em eletricidade tem levado a um crescimento exponencial da capacidade instalada em todo o mundo, impulsionada por inovações tecnológicas, reduções de custo e políticas governamentais favoráveis (IEA, 2021). Esse crescimento é visto como um passo crucial para a mitigação das mudanças climáticas e para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se com os objetivos do Acordo de Paris e as metas de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (UN, 2015).

No entanto, apesar dos benefícios ambientais evidentes, a instalação e operação de sistemas solares fotovoltaicos apresentam uma gama de impactos socioambientais que precisam ser cuidadosamente examinados. O ciclo de vida dos painéis solares envolve a extração e processamento de matérias-primas, como silício e metais raros, processos que podem acarretar impactos ambientais significativos, incluindo poluição e degradação dos recursos naturais (Gordon et al., 2022). Além disso, a produção e o descarte de painéis solares geram resíduos que, se não forem geridos adequadamente, podem afetar negativamente o meio ambiente e a saúde humana (Suki et al., 2022).

A instalação de grandes usinas solares, frequentemente localizadas em áreas rurais ou ecossistemas sensíveis, pode levar a mudanças significativas no uso do solo, o que, por sua vez, pode impactar a biodiversidade local e os habitats naturais (Kumar et al., 2023).

Adicionalmente, essas instalações podem ter implicações para as comunidades locais, desde a alteração de paisagens até a criação de novas dinâmicas econômicas e sociais. As interações entre as comunidades e as novas infraestruturas solares podem gerar tanto oportunidades, como a criação de empregos e desenvolvimento econômico, quanto desafios, como deslocamento e alterações nas práticas tradicionais (Liao et al., 2022).

Este estudo visa oferecer uma revisão abrangente da literatura existente sobre os impactos socioambientais da energia solar fotovoltaica, focando em três áreas principais: os efeitos ambientais associados ao ciclo de vida dos painéis solares, os impactos das instalações solares em ecossistemas e comunidades locais, e as estratégias para mitigar esses impactos. Ao analisar e sintetizar pesquisas recentes e dados empíricos, este trabalho pretende proporcionar uma visão crítica sobre como a energia solar pode ser desenvolvida e implementada de forma mais sustentável e responsável. Espera-se que esta revisão contribua para um entendimento mais holístico dos impactos da energia solar fotovoltaica e ajude a orientar políticas e práticas que maximizem seus benefícios enquanto minimizam seus efeitos adversos.

Foi realizada uma pesquisa do tipo revisão de literatura. A busca sistematizada foi obtida prioritariamente na biblioteca virtual SCIELO (Scientific Electronic Library Online). Utilizaram-se os seguintes descritores: sustentabilidade, tecnologia, inovação; e sustainability, technology e innovation e na língua inglesa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

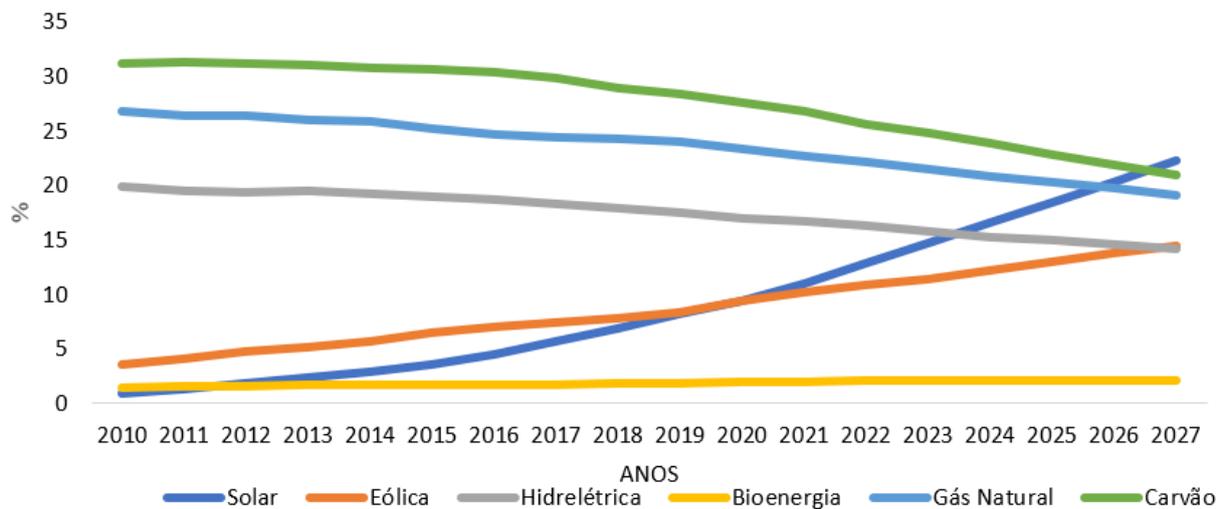
2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO E NO BRASIL

Os seres humanos têm usufruído da luz solar há muitos séculos, sendo o primeiro uso da energia solar para fins de iluminação ocorrido durante o período paleolítico (Farias, 2011). Como o ser humano é inerentemente diurno, desde o início sempre houve preocupação em obter uma forma de luz artificial.

Naquela época utilizavam o sol de várias maneiras, por exemplo para secar peles e alimentos entre outros, ao mesmo tempo em que os arqueólogos localizaram evidências históricas de que, já no século VII a.C. as pessoas já usavam lentes de vidro convergentes simples para focar a luz do sol em um ponto para obter mais energia e desta forma gerar combustão em pequenos pedaços de madeira para obter o fogo (Da Cunha Kemerich, 2016).

O planeta passa por um crescimento de gasto de energia ano após ano e há a necessidade de métodos para suprir essa necessidade e reduzir os impactos ambientais a fim de satisfazer o mercado (Rezende, 2018). Segundo a *International Renewable Energy Agency* (Agência Internacional para as Energias Renováveis, 2022) IRENA, a energia solar é a fonte de energia com maior crescimento mundial em capacidade instalada e estima-se que no ano de 2027 ultrapasse outras fontes em geração de energia mundialmente (Figura 1).

Figura 6: Parcela da capacidade cumulativa de energia por tecnologia no mundo, 2010-2027.

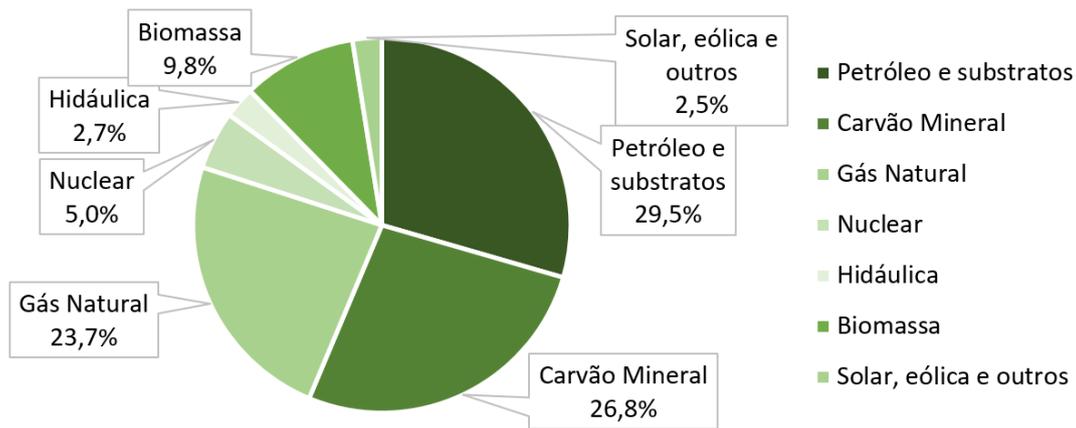


Fonte: Adaptado IEA, 2022.

No começo do século 21, a indústria fotovoltaica consolidou-se nos mercados desenvolvidos devido ao aumento da demanda e da escala de produção de energia em vários setores, aliada ao desenvolvimento tecnológico específico que possibilitou reduções de preço e conseqüentemente a facilidade em entrar no mercado para comercialização. Esse desenvolvimento tecnológico ocorreu principalmente na Alemanha, Estados Unidos e Japão, seguidos pela Itália, Espanha e Noruega (Esposito, 2013).

Segundo a *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia, 2021) IEA no ano de 2020, a matriz energética mundial baseou-se principalmente em fontes do tipo não renováveis, principalmente por petróleo, uma vez que os substratos do petróleo, gás natural e carvão mineral correspondem a 80% do consumo energético do planeta, enquanto a energia oriunda da energia solar representa menos de 2% da energia (Figura 2).

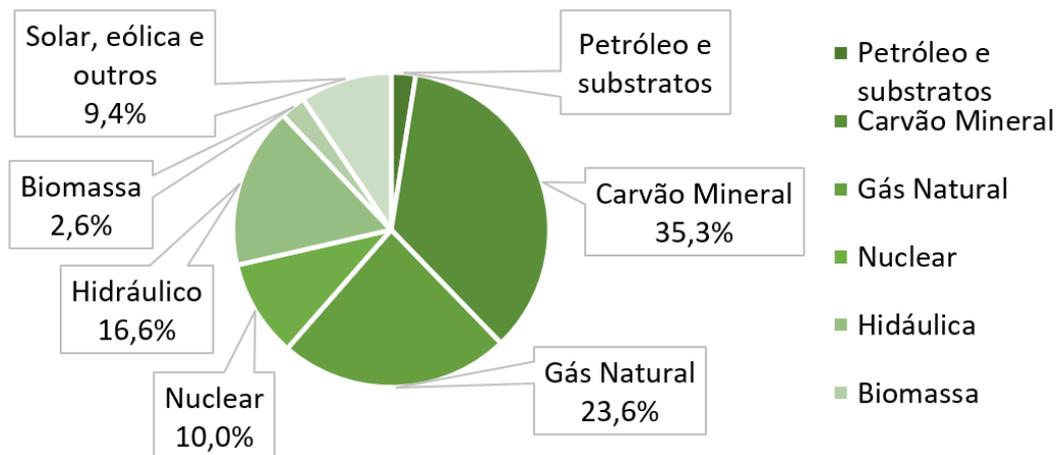
Figura 7: Matriz energética mundial no ano de 2020.



Fonte: Adaptado IEA, 2022.

A geração de energia elétrica também é proveniente em sua maior parte de fontes de não renováveis (IEA, 2022). Contudo, as energias de fontes renováveis ganham mais participação, principalmente com a energia gerada de forma hidráulica em hidrelétricas com 16,6% da matriz elétrica mundial (Figura 3).

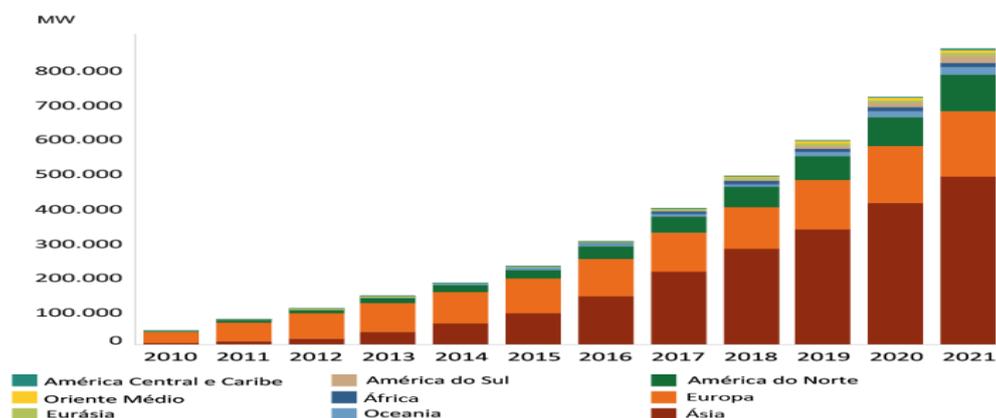
Figura 8: Matriz elétrica mundial no ano de 2020.



Fonte: Adaptado IEA, 2022

A capacidade instalada de energia solar fotovoltaica mundial vem crescendo a cada ano, com destaque para o continente asiático, liderando com mais da metade da geração global. Dados mostram que no ano de 2021 a capacidade instalada mundial atingiu um valor próximo a 850.000 MW, o que representa um crescimento de mais de 49% em relação ao de 2020 (Figura 4) (Irena, 2022).

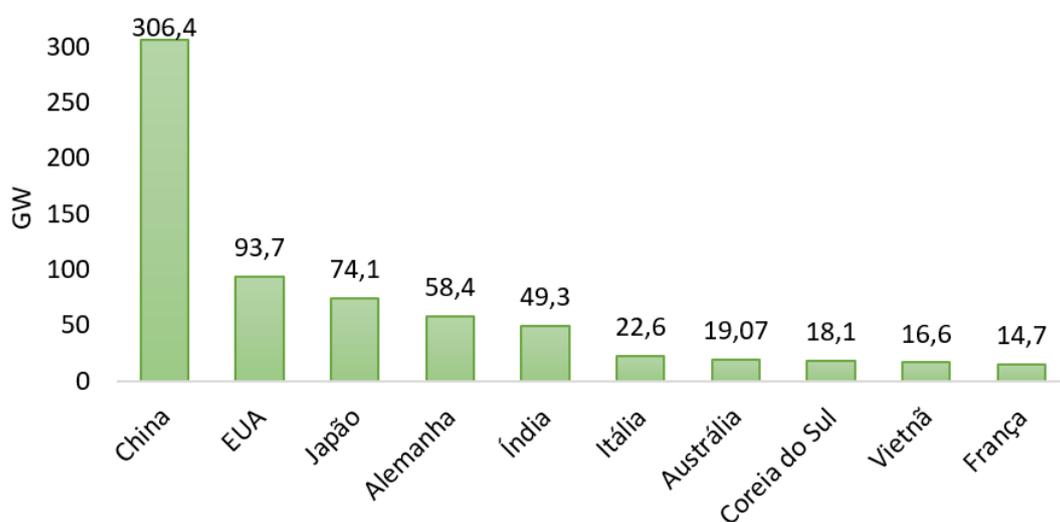
Figura 9: Capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo 2021.



Fonte: Adaptado IRENA, 2022.

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2022) a força de desenvolvimento tecnológico da indústria fotovoltaica concentra-se na China, que atualmente é líder na produção de painéis fotovoltaicos. No ano de 2021 a China apresentou aproximadamente 38% do crescimento da energia solar fotovoltaica, isso devido as novas adições de capacidade em 2020 e 2021, o segundo maior aumento na geração de eletricidade com 17% da geração total de eletricidade ocorreu nos Estados Unidos e o terceiro na União Europeia com 10% (Figura 5).

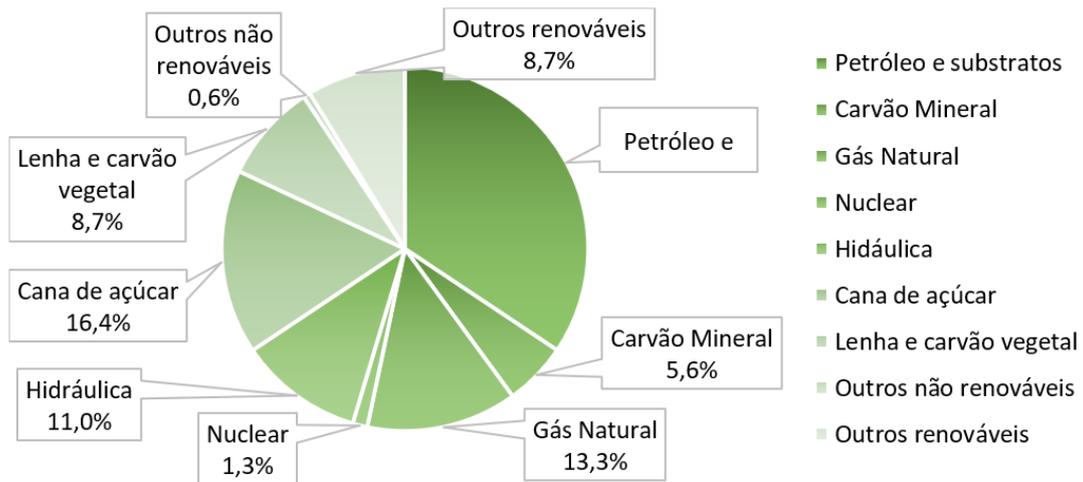
Figura 10: Ranking mundial de geração solar fotovoltaica 2021.



Fonte: Adaptado ABSOLAR, 2022.

O Balanço Energético Nacional (BEM,2022), somando as fontes não renováveis do Brasil chega próximo de 51% de toda a matriz (Figura 6), que comparado com a matriz mundial é bem menor, que apresenta 85% (Figura 2) de geração. Enquanto, as energias renováveis apresentam um consumo maior com aproximadamente 49% contra um consumo de apenas 15%.

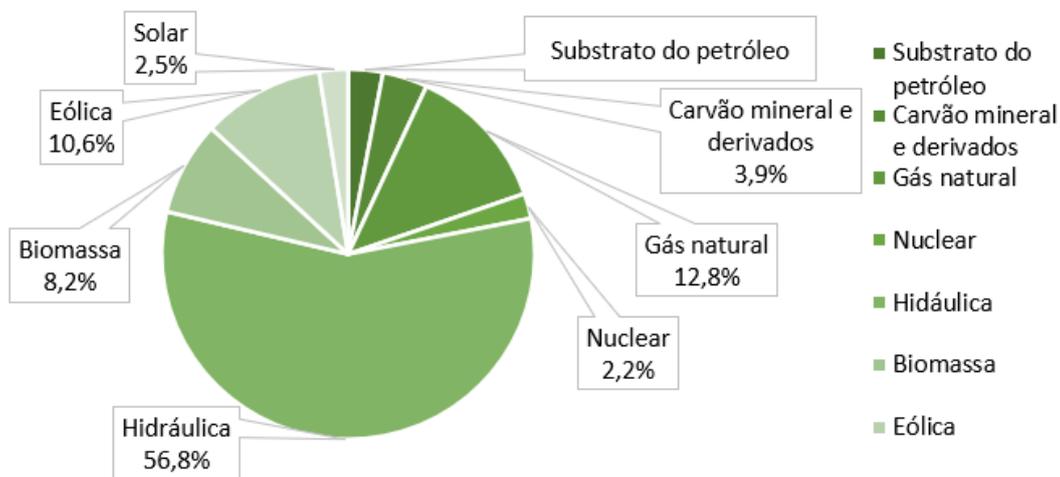
Figura 11: Matriz energética brasileira 2021.



Fonte: Adaptado BEN, 2022

No panorama global, o Brasil se destaca por ter sua origem de geração de energia elétrica fortemente baseada em fontes renováveis (Esposito, 2013). A energia oriunda de hidrelétricas corresponde a quase 57% da matriz brasileira e que juntando as outras fontes renováveis como eólica, biomassa e solar chega a 78,1% (Figura 7) (Ben, 2022).

Figura 12: Matriz energética elétrica 2021.



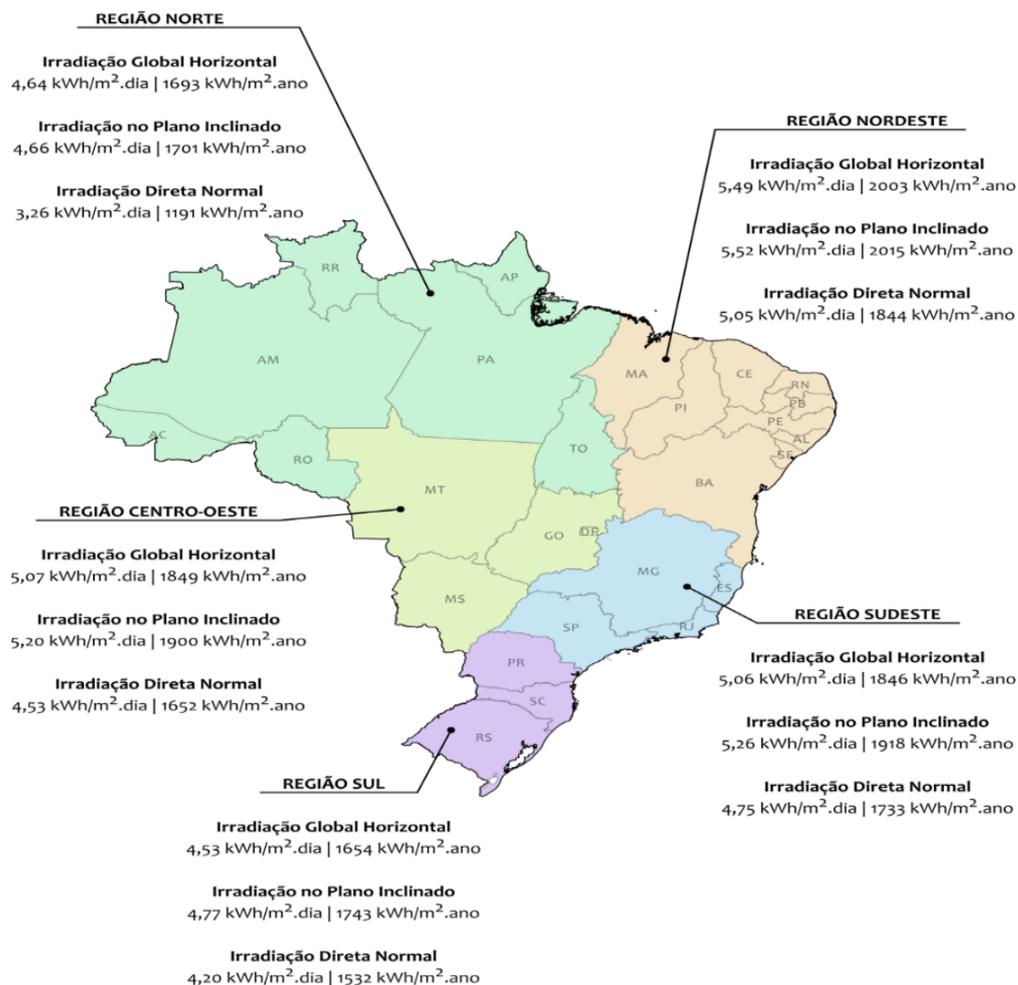
Fonte: Adaptado BEN, 2022.

A Resolução Normativa da ANEEL – RN nº 482/2012 é considerado o marco inicial da geração distribuída no Brasil, onde os consumidores brasileiros tiveram a oportunidade de gerar a sua própria energia a partir de fontes renováveis, como a energia solar, e conseguindo fazer uma compensação na conta final com o excedente que foi direcionado para rede de distribuição local.

Segundo a ANEEL em 2012, a geração distribuída pode proporcionar benefícios ao sistema elétrico, logo, alguns benefícios são fornecidos, como: o diferimento de investimentos para a expansão do sistema de transmissão e distribuição, restrição da carga na rede, pequeno impacto ambiental, redução de perdas e modificação da matriz energética.

Assim, segundo a Empresa de Pesquisa Energetica (EPE, 2020), devido ao seu posicionamento geográfico, o Brasil possui alta incidência de radiação solar, que é relativamente uniforme em todo o país (Figura 8), possibilitando o desenvolvimento de projetos solares viáveis em diferentes regiões, com isso, a energia solar fotovoltaica torna-se uma alternativa competitiva no fornecimento de energia.

Figura 13: Níveis de irradiação solar por região.



Fonte: Atlas brasileiro de energia solar, 2017.

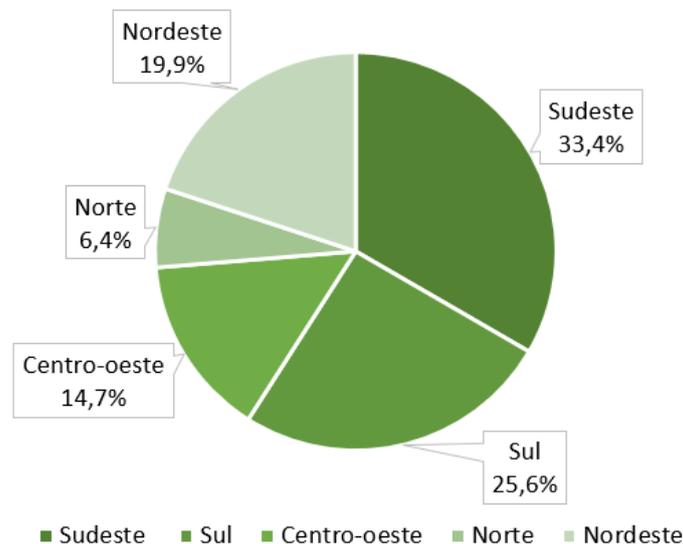
Observa-se que a região Nordeste possui uma maior irradiação registrada (Figura 8). Mas, mesmo as regiões com menor irradiação tem um poder de geração de energia superior a

países que atualmente tem uma colocação melhor do que o Brasil no ranking mundial de países com maiores potencia de energia solar, como a Alemanha (Moreira Júnior, 2020).

Segundo a ABSOLAR em novembro de 2022, o Brasil apresentou potência instalada de 22.357 MW, em que 15.339 MW é proveniente de geração distribuídas e 7.018 MW são de gerações centralizadas, onde a energia é gerada em um local para ser consumida por outra uniade.

O número de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica no Brasil é de 1.463.241 de sistemas. No ranking de 2022 de instalação de geração distribuídas por regiões brasileiras o sudeste brasileiro é a região com maior potência instalada, enquanto o norte é a que tem a menor potência (Figura 9) (Absolar, 2022).

Figura 14: Ranking estadual de geração distribuída.



Fonte: Adaptado ABSOLAR, 2022.

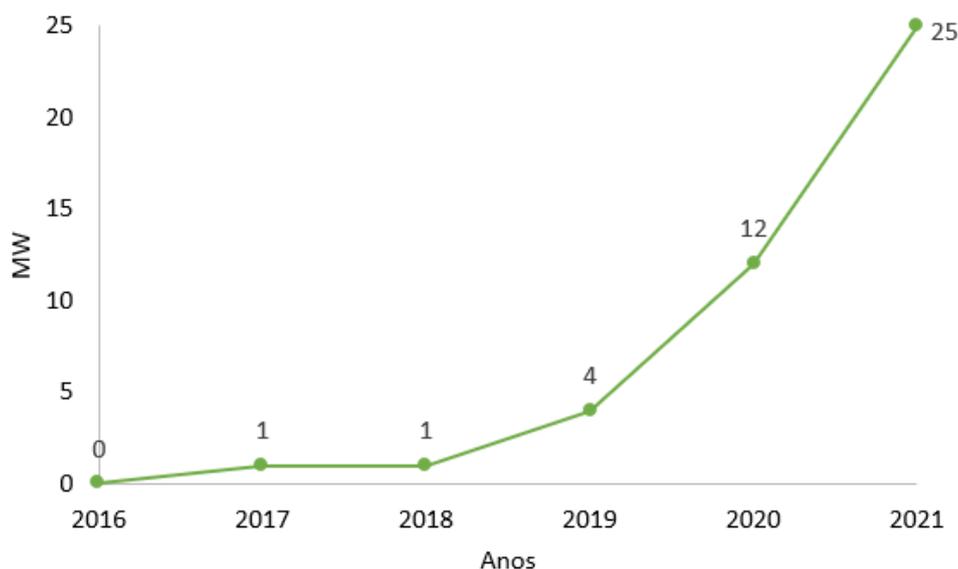
2.2. ENERGIA SOLAR EM ALAGOAS

O estado de Alagoas, por se localizar no Nordeste do Brasil apresenta grande potencial para geração de energia a partir de sistemas solares fotovoltaicos. A média de irradiação no estado é 5,34 kWh/m², onde a região com maior destaque para geração é no sertão, localizado geograficamente a oeste do estado, onde vários municípios durante todos os meses ano apresenta média superior a 6,00 kWh/m segundo o instituto de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB).

O município de Maceió possui irradiação solar abundante durante todos os meses do ano (5,36 kWh/m².dia), média superior a do estado de Alagoas (CRESESB). E o crescimento da energia em Alagoas e em Maceió é muito notável. No ano de 2021 a capacidade acumulada

em todo o estado era de 71 MW, onde 25 MW (Figura 10) está localizado na capital do estado. O número de sistemas de geração distribuídas é de 5.994 no estado de Alagoas e 2.342 estão cidade de Maceió (EPE, 2022).

Figura 15: Capacidade instalada acumulada em Maceió, Alagoas.



Fonte: Adaptado EPE, 2022.

A partir do convênio 16 do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) de 22 de abril de 2015 foi autorizada a isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia elétrica de que se trata a Resolução Normativa de número 482, de 2012. E através do convênio ICMS 157, de 18 de dezembro de 2015 o estado de Alagoas aderiu a esse benefício para a geração de energias renováveis que serviu como um incentivo para a instalação de sistemas fotovoltaicos no estado.

Os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados na cidade de Maceió, são conhecidos por fazer parte da geração distribuídas de energia elétrica, sendo caracterizadas pelo uso de geradores descentralizados, instalados próximo aos locais de consumo, diferentemente dos modelos tradicionais como hidrelétrica, usinas termoelétricas e usinas nucleares que são construídas em locais distantes dos consumidores finais (Villalva, 2012).

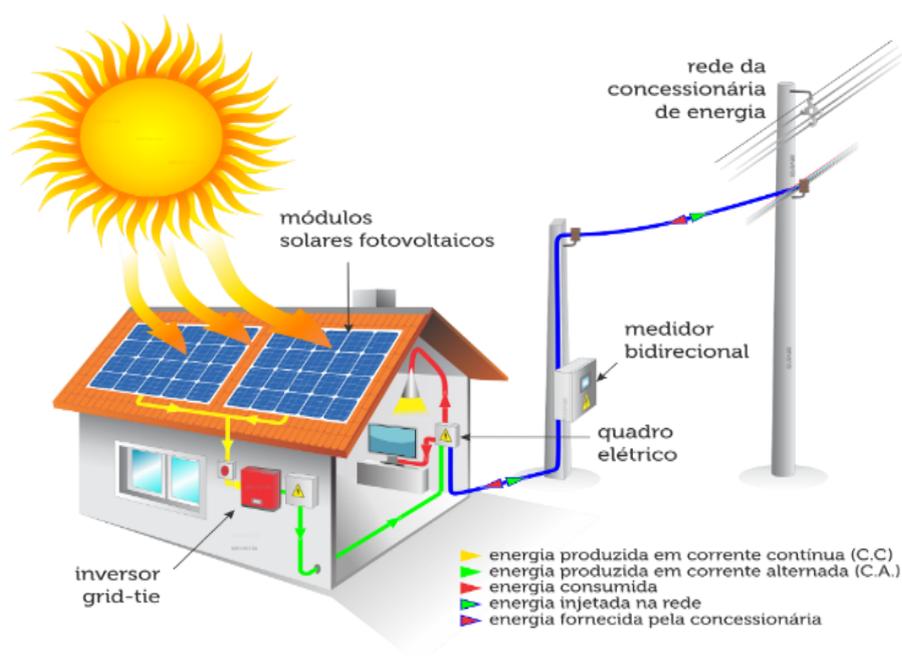
A categoria de geração distribuída inclui parques geradores construídos em áreas abertas e pequenos geradores conectados ao sistema elétrico e instalados em áreas superpovoadas. Esses geradores podem ser instalados nos telhados de residências, empresas,

escolas e shopping para formar micro e pequenas centrais elétricas conectadas ao sistema elétrico da cidade.

Essas pequenas usinas são conectadas diretamente à rede de distribuição de baixa tensão sem a necessidade de transformadores ou linhas de transmissão. Além de fornecer energia aos consumidores locais, eles também contribuem para a geração de eletricidade do município devido à sua conexão com o sistema elétrico (Villalva, 2012).

O sistema fotovoltaico conectado à rede funciona inicialmente com o painel solar instalado no telhado captando a luz e por meio do efeito fotovoltaico transformando em energia elétrica, onde essa energia é enviada para o inversor fotovoltaico em forma de corrente contínua (CC) e ele a transforma em corrente alternada (CA) e direcionada para o quadro de distribuição de energia onde é distribuído para o consumo da residência e o excesso é injetado na rede elétrica da concessionária e transformado em créditos para serem consumidos posteriormente (Figura 12) (Pinho, 2014).

Figura 16: Visão geral do funcionamento de um sistema solar.



Fonte: Luz solar, 2016.

2.3. ENERGIA FOTOVOLTAICA E A CONTABILIDADE AMBIENTAL

O meio ambiente é o principal fator para existência da vida, pois é nele que se encontram todos os recursos naturais que são utilizados indiretamente ou diretamente pelo

ser humano, dentre eles os químicos, físicos, biológicos e ambientais e afetá-lo pode ocasionar mudanças de maneiras globais e irreversíveis.

A contabilidade ambiental é o cálculo dos benefícios e prejuízos que o desenvolvimento de produtos ou serviços podem trazer ao meio ambiente, ou seja, é um conglomerado de ações planejadas para um projeto de desenvolvimento, levando em conta as preocupações ambientais (Conceição, 2014).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986 no artigo 1º diz que: para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e, V - a qualidade dos recursos ambientais.

Refletindo em um problema que é enquadrado nas situações atuais, no qual, o meio ambiente sofre uma ação depredatória constante pelo ser humano, chamada de impacto socioambiental. Pode-se entender que o impacto ambiental é um “conjunto de manifestações da destrutividade ambiental, resultantes da apropriação privada da natureza, mediadas pelo trabalho humano” (Silva, 2010).

2.3.1. Impactos ambientais dos sistemas fotovoltaicos: físicos, bióticos e socioeconômicos

Os empreendimentos com sistemas solares fotovoltaicos, como qualquer outra atividade geradora de energia elétrica, pode ocasionar em todas suas etapas impactos ambientais negativos e positivos podendo ser em sua proporcionalidade mais vantajosos ou não. A energia de sistemas solares tem como pontos positivos ser renovável, limpa, sustentável, pode gerar uma economia ao usuário de até 95 % da conta de energia elétrica, uma vida útil de aproximadamente 25 anos, pode ser usada em áreas isoladas de rede elétrica, valoriza o imóvel e dependendo do projeto ocupa pouco espaço. A relação de impactos gerados por sistemas solares positivos são maiores do que os negativos. Porém existe também os pontos negativos que para compreender as alterações que essa implantação pode gerar no meio ambiente é necessário estudar o local de instalação, as características do ecossistema local e suas características físicas e climáticas (Barbosa,2015).

Existem impactos sobre o meio físico que são facilmente notados, como a movimentação de máquinas, materiais e equipamentos, a alteração na paisagem do local com objetos que não fazem parte daquele meio e o fluxo de recursos humanos. A fase de construção de uma unidade de geração de energia elétrica solar é a fase que mais pode ocasionar alterações neste meio. Dependendo da dimensão poderá acarretar alterações ou degradação paisagísticas para poder comportar todo o maquinário necessário para funcionar e futuramente podendo existir um processo erosivo e do lençol freático pela retirada da vegetação natural.

A utilização de máquinas e movimentação de carros, caminhões e guindastes ocasionam a elevação de partículas e gases alterando a qualidade do ar naquele local, conseqüentemente, todo o maquinário precisa de prevenções corretivas que feitas de forma errada pode ocasionar geração de resíduos e contaminação do solo.

Os impactos podem também ser vistos no ecossistema, o local que for instalada a usina pode acarretar muitas mudanças no sistema em que ele for inserido, modificando a flora e a fauna local, tanto na fase de construção, operação ou quando não funcionar mais (Geoconsult, 2012), dentre essas mudanças podem se destacar: a retirada da cobertura vegetal natural do solo, a retirada forçada de animais que viviam naquele meio e a eliminação de microfaunas o que pode ocasionar na diminuição no potencial ecológico da região.

O reflexo dos impactos socioeconômico pode ocorrer apenas no local que foi instalada a usina ou também em regiões ao redor, podendo existir a geração de emprego ou renda para essa população local, ocasionando um melhoramento na economia local. Segundo a Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE, 2012) estima-se que aproximadamente 30 empregos diretos e ou indiretos são proporcionados a cada MW instalados em cada usina.

Com o aumento do número de colaboradores a movimentação no comércio local e na região ao redor começa a aumentar, gerando uma dinâmica no mercado, devido ao aumento da renda e do poder de comprar das famílias. Com isso, aumenta o fluxo de dinheiro e próprio governo acaba lucrando com o aumento da carga tributária do comércio (Barbosa, 2015). Ainda segundo Barboda (2015), além do consumo próprio dos colaboradores, pode também existir a necessidade consumo de materiais para o próprio empreendimento como material de obra, aquisição de equipamentos para riscos de acidente de trabalho e entre outros.

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a solar, contribui para descentralização no fornecimento de energia, podendo diminuir a dependência das fontes convencionais que além de ser uma grande fonte poluidora, tem grande custo de operação, e aumentando o número de gerações de energias alternativas a confiabilidade na matriz energética local aumenta (Bezerra, 2021).

2.4. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS EM ALAGOAS

Levando em consideração os dados das instalações de geração distribuídas, no estado de Alagoas os impactos socioambientais têm interferência nos três meios, no físico, biótico e socioeconômico com a instalação de sistemas de gerações de grande porte, principalmente para indústrias instaladas no estado, que, segundo a Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração da ANEEL tem um total de 18 empreendimentos, onde quatro estão em operação no município de Maceió, e o restante está em fase de construção.

Estima-se que em Alagoas existe cerca de 200 empresas de energia solar, onde cerca de 60 estão localizadas na cidade de Maceió, o que é economicamente positivo tanto para o estado como para capital, por promover movimentação na economia local com a contratação de profissionais para compor a empresa de forma direta e indireta.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da energia solar fotovoltaica revela seu papel cada vez mais significativo na matriz energética global e nacional. O crescimento contínuo da capacidade instalada, especialmente nos últimos anos, destaca a energia solar como uma solução viável e sustentável para atender à crescente demanda por energia, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais associados às fontes de energia convencionais.

No Brasil, a energia solar tem mostrado um avanço substancial, impulsionado por políticas de incentivo e uma matriz energética que valoriza fontes renováveis. Alagoas, com sua alta incidência de radiação solar, se destaca como um estado com grande potencial para a expansão da energia fotovoltaica. A capacidade instalada em Alagoas, particularmente em Maceió, reflete o sucesso das políticas de incentivo, como a isenção de ICMS, que estimularam a adoção de sistemas fotovoltaicos.

Os benefícios da energia solar incluem a redução dos custos com eletricidade, a minimização dos impactos ambientais e a promoção de desenvolvimento econômico local através da criação de empregos e da movimentação econômica. No entanto, a implementação

de sistemas fotovoltaicos também pode gerar impactos negativos, como alterações no meio físico e no ecossistema local, que devem ser cuidadosamente avaliados e mitigados.

Para maximizar os benefícios da energia solar e minimizar seus impactos adversos, é essencial continuar a expansão da capacidade instalada, investir em tecnologias mais eficientes e sustentáveis, e promover a conscientização e educação sobre a energia solar. A adoção de medidas rigorosas para a avaliação e mitigação de impactos ambientais, juntamente com o incentivo à inovação tecnológica, pode assegurar que a energia solar continue a contribuir positivamente para uma matriz energética mais sustentável e eficiente.

Essas considerações finais reforçam a importância da energia solar fotovoltaica como um pilar fundamental na construção de um futuro energético mais verde e sustentável, destacando a necessidade de um equilíbrio entre a expansão tecnológica e a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- Abinee. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. *Estudo do setor de energia solar*. São Paulo, 2012.
- Absolar. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. *Relatório anual de energia solar*. São Paulo, 2022.
- Barbosa, G. Impactos ambientais dos sistemas solares fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 20, n. 3, p. 45-58, 2015.
- Bezerra, C. Descentralização no fornecimento de energia. *Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia*, v. 32, n. 1, p. 99-110, 2021.
- Conceição, R. Contabilidade ambiental: benefícios e prejuízos. *Revista de Contabilidade e Meio Ambiente*, v. 8, n. 2, p. 112-130, 2014.
- Da Cunha Kemerich, M. História do uso da energia solar. *Revista de História da Energia*, v. 12, n. 1, p. 25-38, 2016.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Panorama da energia solar no Brasil*. Brasília, 2022.
- Esposito, J. Desenvolvimento tecnológico da indústria fotovoltaica. *Revista Internacional de Energias Renováveis*, v. 15, n. 2, p. 73-85, 2013.
- Farias, M. Uso da luz solar na pré-história. *Revista de Arqueologia e Tecnologia*, v. 9, n. 1, p. 45-56, 2011.

- Geoconsult. Impactos ambientais de usinas solares fotovoltaicas. *Relatório de Estudos Ambientais*, v. 5, n. 4, p. 23-37, 2012.
- Gordon, R. et al. Ciclo de vida dos painéis solares e seus impactos ambientais. *Journal of Environmental Science and Technology*, v. 56, n. 7, p. 987-1003, 2022.
- IEA. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2021*. Paris, 2021.
- IRENA. International Renewable Energy Agency. *Global Solar Energy Capacity Report 2022*. Abu Dhabi, 2022.
- Kumar, R. et al. Impactos das usinas solares em ecossistemas. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 88, p. 104-115, 2023.
- Liao, H. et al. Efeitos sociais e econômicos das instalações solares. *Journal of Sustainable Development*, v. 20, n. 3, p. 201-216, 2022.
- Moreira Júnior, S. Comparação da irradiação solar global. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 2, p. 89-101, 2020.
- Pinho, A. Funcionamento de sistemas solares fotovoltaicos. *Manual de Energia Solar*, p. 34-56, 2014.
- Suki, N. et al. Resíduos de painéis solares e impactos ambientais. *Waste Management Journal*, v. 46, p. 278-290, 2022.
- Silva, A. Impacto socioambiental e apropriação da natureza. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 17, n. 2, p. 123-136, 2010.
- Villalva, M. Geração distribuída de energia. *Revista de Engenharia Elétrica*, v. 12, n. 1, p. 59-72, 2012.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA CIDADE DE FORTALEZA A PARTIR DO USO DE INDICADORES AMBIENTAIS

SUSTAINABILITY ANALYSIS OF THE CITY OF FORTALEZA A START FROM THE USE OF ENVIRONMENTAL INDICATORS

DOI: 10.51859/amplla.cti4345-20

Marcio William Celestino dos Santos¹

Marcelo de Freitas Medeiros Neto²

William Neves da Silva³

Wanessa Maria Araújo Paulo⁴

Daiane Farias Veras⁵

Maurício dos Santos Lima⁶

¹ Engenheiro Ambiental e Sanitarista – Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho – UNIFOR.

² Tecnólogo em Saneamento Ambiental (IFCE) - Pós-Graduando em Gestão de Projetos em Educação Ambiental – (FAVENI).

³ Engenheiro de Produção - Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho – UNIFOR.

⁴ Engenheira Ambiental e Sanitarista – Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho – UNIFOR.

⁵ Tecnóloga em Saneamento Ambiental (IFCE) - Pós-Graduada em Engenharia, Meio Ambiente e Saneamento Básico – (FAEL).

⁶ Engenheiro Mecânico - (UFERSA) - Pós-Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho – FUNIP.

RESUMO

A partir da década de 1970, surgiu uma maior conscientização sobre o meio ambiente. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o índice de sustentabilidade da cidade de Fortaleza - CE, por meio do estudo de seus indicadores de sustentabilidade. Assim, destacam-se alguns pontos relevantes dos índices escolhidos para o presente estudo. O índice de qualidade da água é representado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que fornece serviços de abastecimento de água em Fortaleza. O índice de resíduos é controlado pela ECOFOR, empresa concessionária responsável pela coleta e pelo encaminhamento dos materiais para o aterro de Caucaia. Em 2010, no último censo, o número de residências com coleta de resíduos chegou a 701.160, o que representa 98,75% do total. O índice de energia, segundo o IBGE (2010), indica que 98,34% dos cearenses têm energia elétrica em suas residências. No que diz respeito ao índice de saneamento, o censo do IBGE (2010) revela que o município de Fortaleza adota as seguintes práticas de disposição de esgoto doméstico: malha geral de coleta de esgoto pela CAGECE, fossas sépticas, fossas básicas, valas, disposição em corpos d'água (rios e/ou mar), outros métodos (rede de drenagem) ou, em alguns casos, descarte a céu aberto.

Palavras-chave: Conscientização. Índice de sustentabilidade. Meio Ambiente.

ABSTRACT

From the 1970s onwards, greater awareness about the environment emerged. Therefore, the general objective of this work is to evaluate the sustainability index of the city of Fortaleza - CE, through the study of its sustainability indicators. Therefore, some relevant points of the indices chosen for this study stand out. The water quality index is represented by the Ceará Water and Sewage Company (CAGECE), which provides water supply services in Fortaleza. The waste rate is controlled by ECOFOR, the concessionary company responsible for collecting and forwarding materials to the Caucaia landfill. In 2010, in the last census, the number of households with waste collection reached 701,160, which represents 98.75% of the total. The energy index, according to IBGE (2010), indicates that 98.34% of Ceará residents have electricity in their homes. With regard to the sanitation index, the IBGE census (2010) reveals that the municipality of Fortaleza adopts the following domestic sewage disposal practices: general sewage collection network by CAGECE, septic tanks, basic septic tanks, ditches, disposal in water bodies (rivers and/or sea), other methods (drainage network) or, in some cases, open disposal.

Keywords: Awareness. Sustainability index. Environment.

1. INTRODUÇÃO

A busca por um desenvolvimento sustentável tornou-se um assunto de suma importância diante das diversas mudanças que o planeta vem enfrentando. Com isso, a partir da década de 1970, surgiu uma maior conscientização sobre o meio ambiente, com o objetivo de alertar a humanidade para os riscos iminentes decorrentes da degradação do planeta (Rossini; Cenci, 2020).

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é fundamental considerar três pilares centrais: o Ambiental, o Social e o Econômico. A correta estruturação desses pilares requer o incentivo do governo, das empresas privadas e da sociedade, para que as questões ambientais sejam tratadas com seriedade na busca pela preservação e conservação do meio ambiente, essenciais para a sobrevivência humana (Pizarro; Graybell, 2022).

O desequilíbrio dos pilares do desenvolvimento sustentável desencadeia sérias consequências, que a sociedade tem acompanhado e continua a presenciar. Entre essas consequências, estão o crescimento populacional desordenado, a propagação de vírus, guerras, depressão, pandemias, mudanças climáticas, aumento dos preços dos produtos, desemprego e outros eventos históricos. Diante dessas situações, torna-se necessário adotar medidas para corrigir as ações humanas. Assim, na década de 1990, surgiram os indicadores ambientais como uma resposta aos desafios de mensurar a sustentabilidade dos ambientes (Zorzo *et al.*, 2022).

De acordo com Deponti (2001), foi na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, por meio da Agenda 21, que surgiu a ideia de desenvolver indicadores de sustentabilidade. O objetivo na época era estabelecer padrões sustentáveis, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Assim, a análise dos indicadores ambientais permite observar o crescimento de municípios, estados ou países, facilitando a identificação de pontos a serem melhorados e a definição de metas para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, o objetivo deste estudo é utilizar indicadores para avaliar a situação da cidade de Fortaleza - CE em relação às questões ambientais.

2. METODOLOGIA

Os indicadores foram definidos com base em sua importância, considerando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a disponibilidade de dados em sites

institucionais do município de Fortaleza, do estado e a nível nacional. Esses indicadores oferecem uma correlação direta com a qualidade de vida, a saúde e o desenvolvimento humano da população desse município. São 17 objetivos que abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo (Cezarino et al., 2022).

Pensando nisto, para avaliar a sustentabilidade da cidade de Fortaleza – Ce, foram definidos os seguintes índices:

- Índice de abastecimento de água (IA);
- Índice de coleta de resíduos sólidos (IR);
- Índice de coleta de esgoto (IE);
- Índice de abastecimento de energia (IP);
- Índice desenvolvimento humano (IDH).

Para a quantificação do meio ambiente, serão coletados dados referentes às condições de infraestrutura e saneamento básico do Município de Fortaleza, (equação 1) . Os dados obtidos expressam o número de domicílios atendidos em cada bairro de Fortaleza pelos seguintes serviços: abastecimento de água, coleta de esgoto, coleta de resíduos sólidos e acesso à energia elétrica. De acordo com o trabalho realizado por Oliveira (2017), é possível calcular o índice de cobertura de cada serviço básico utilizando a equação abaixo (3).

$$\text{Índice de cobertura } (I_n) = \frac{\text{Domicílios atendidos}}{\text{Domicílios totais}} \quad (1)$$

Por sua capacidade de retratar e expressar as características socioeconômicas de uma determinada região ou população, escolheu-se o IDH como parâmetro para auxiliar na determinação do índice de sustentabilidade (IS). Para uma melhor compreensão dos dados, foi necessária uma parametrização, a fim de evitar incoerências nos valores.

De acordo com Oliveira (2017), o IDH é expresso pela seguinte metodologia:

$$\text{IDH} = \sqrt[3]{I_{\text{renda}} \times I_{\text{longevidade}} \times I_{\text{educação}}} \quad (2)$$

Onde:

I_{renda} : indicador de renda na escala 0-1;

$I_{\text{longevidade}}$: indicador de expectativa de vida na escala 0-1;

$I_{\text{educação}}$: indicador de alfabetização na escala 0-1;

Na elaboração do IDH, os índices de renda, longevidade e educação estão parametrizados, isto é, estão em uma escala de 0 a 1.

O presente estudo utilizará uma análise multicritério para auxiliar na interpretação dos dados. Seguindo o método descrito, será aplicada uma média ponderada através da seguinte equação (3).

$$IS = \sum_n I_n \times PP_n \times 10 \quad (3)$$

Onde:

IS – Índice de sustentabilidade;

In = índice de um determinado grupo;

PPn = peso do índice In.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, são apresentados os bairros com os melhores e os piores índices de sustentabilidade da cidade de Fortaleza. Inicialmente, são demonstrados os bairros com os melhores indicadores: Meireles, Praia de Iracema, Aldeota, Cocó e Dionísio Torres. Em contrapartida, os bairros com os menores índices de sustentabilidade são Sabiaguaba, Pedras, Parque Presidente Vargas, Curió e Siqueira. A Sabiaguaba tem o menor IDH – índice de desenvolvimento humano – entre todos os bairros de Fortaleza. Além disso, é o sexto na lista de coleta de lixo e esgoto precários. Os bairros com os piores índices enfrentam os mesmos problemas, devido à alta densidade populacional e à infraestrutura precária (Prefeitura de Fortaleza, 2024).

Para alguns bairros, incluindo o Meireles, a categoria do índice é baseada na qualidade de vida, resultando em IDH elevados e bairros bem desenvolvidos. Isso, conseqüentemente, afeta as políticas públicas e o desenvolvimento devido a jurisdições conflitantes (Oliveira, 2017).

As periferias de Fortaleza, incluindo as zonas leste e sul, apresentam os menores índices de sustentabilidade. Além disso, os bairros que surgiram recentemente nessas áreas também têm índices de sustentabilidade baixos. Em contrapartida, os bairros com os maiores índices de sustentabilidade tendem a estar localizados no entorno do Centro, onde se encontram as primeiras infraestruturas e empreendimentos. Além disso, muitos desses mesmos bairros apresentam bons índices de sustentabilidade, mesmo considerando a ocupação recente. A infraestrutura de saneamento de Fortaleza possui um plano bem elaborado, refletido no alto índice de IS atribuído à análise municipal (Prefeitura de Fortaleza, 2024).

Na Figura 1, são apresentados os desenvolvimentos das escalas para os indicadores de IS (Índices de Sustentabilidade) utilizados na Tabela 1. É importante observar as variações, que compreendem diferentes cenários e determinam suas classificações, divididas em: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo.

Figura 1: Escala do IS

| | |
|--------------------|--------------|
| MUITO ALTO | 8,00 – 10,0 |
| ALTO | 7,00 – 7,999 |
| MÉDIO | 6,00 – 6,999 |
| BAIXO | 5,00 – 5,999 |
| MUITO BAIXO | 0,0 – 4,999 |

Fonte: Oliveira 2017.

A Prefeitura de Fortaleza recebeu pela terceira vez consecutiva a pontuação máxima possível no Índice de Qualidade Ambiental (IQA) do governo estadual. O IQA é uma avaliação baseada em diversos critérios que consideram as políticas de gestão ambiental de resíduos. Por meio do decreto nº 29.306, de 5 de junho de 2008, a Prefeitura recebeu 2% do ICMS do Ceará — um valor significativo, considerando que foi a terceira maior pontuação consecutiva nessa escala. Isso demonstra o compromisso de Fortaleza com suas iniciativas de mudanças climáticas e esforços em relação às políticas de gestão de resíduos (Prefeitura de Fortaleza, 2024).

Tabela 1 - Indicadores desenvolvidos para Fortaleza

| RANKING | Bairro | IS | RANKING | Bairro | IS |
|----------------|------------------|-----------|----------------|--------------------------|-----------|
| 1 | Meireles | 9.7304 | 110 | Parque Santa Rosa | 5.0525 |
| 2 | Dionísio Torres | 9.6584 | 111 | Sapiranga | 4.9247 |
| 3 | Aldeota | 9.5513 | 112 | Ancuri | 4.9171 |
| 4 | Praia de Iracema | 9.5001 | 113 | Canindezinho | 4.8493 |
| 5 | Cidade 2000 | 9.4977 | 114 | Manuel Dias Branco | 4.7659 |
| 6 | Cocó | 9.4864 | 115 | Siqueira | 4.7105 |
| 7 | Fátima | 9.4840 | 116 | Curió | 4.6153 |
| 8 | Varjota | 9.4666 | 117 | Parque Presidente Vargas | 3.8196 |
| 9 | José Bonifácio | 9.4201 | 118 | Pedras | 1.9811 |
| 10 | Bom Futuro | 9.3909 | 119 | Sabiaguaba | 1.3770 |

Fonte: Oliveira, 2017.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa revelou que a cidade de Fortaleza possui um Índice de Sustentabilidade (IS) de 7,945, sendo considerado um valor elevado. Com base nesse estudo, Fortaleza pode ser considerada uma cidade sustentável.

É necessário destacar que os serviços que compõem o saneamento básico fazem parte de um conjunto maior de infraestruturas disponíveis nas cidades, como energia elétrica, telecomunicações e eixos rodoviários. A pesquisa também mostra que o Estado do Ceará, o setor social organizado e as empresas imobiliárias têm direções conflitantes na distribuição da infraestrutura pela cidade. O Estado desempenha o papel de fornecer bens e serviços necessários para o desenvolvimento socioeconômico e o bem-estar das pessoas.

O Índice de Sustentabilidade (IS) é um método eficaz e uma ferramenta valiosa de ensino e aprendizagem. Ele permite que os alunos compreendam a distribuição espacial dos serviços básicos em uma determinada área por meio da análise do índice. Os dados dessa análise permitiram identificar locais onde os serviços básicos são escassos ou concentrados. Essas informações levaram a conclusões sobre a constante reconfiguração da infraestrutura nos bairros, que mudaram conforme seu propósito original se transformou. Existem algumas exceções a essa tendência, graças a vários projetos habitacionais que se reconfiguraram para melhor acesso aos serviços. AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela minha vida e por me ajudar a ultrapassar todos os meus obstáculos encontrados ao longo do curso e da vida. Aos meus pais e familiares que me incentivaram e me apoiaram nos momentos difíceis que compreenderam minha ausência enquanto eu me dedicava a realização deste trabalho. Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

REFERÊNCIAS

CEZARINO, L. O.; LIBONI, L. B.; HUNTER, T.; PACHECO, L. M.; MARTINS, F. P. Corporate social responsibility in emerging markets: Opportunities and challenges for sustainability integration. **Journal of Cleaner Production, Elsevier**, v. 362, p. 132224, 2022.

DEPONTI, Cidonea Machado. Indicadores para avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Especialização em Desenvolvimento Rural e Agroecologia Convênio, Porto Alegre, nov. 2001.

- IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável Brasil 2002. **Estudos e Pesquisas em Geociências**, nº2, Rio de Janeiro, IBGE, 191 p, 2002.
- IBGE. Sistema de Contas Nacionais: Brasil 2019. **Contas Nacionais**, Rio de Janeiro, v. 82, p. 1-12.
- OLIVEIRA, JOSÉ FÁBIO. PROPOSIÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA CIDADE DE FORTALEZA/CE A PARTIR DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS. Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Ceará, 27 out. 2017.
- OPAS, INDICADORES BÁSICOS PARA A SAÚDE NO BRASIL: CONCEITOS E APLICAÇÕES. Organização Pan-Americana da Saúde, Brasília, p. 11-20, dez. 2008.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 1972.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Onu Brasil, Brasília, dez. 1947. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, acessado em 29 jul. 2024.
- PIZARRO, N.; GRAYBEAL, G. M. Learning design thinking: A social innovation jam. **Entrepreneurship Education and Pedagogy**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 5, n. 2, p. 208–224, 2022.
- PREFEITURA DE FORTALEZA. **Fortaleza alcança nota máxima no índice de qualidade do meio ambiente pela terceira vez consecutiva**. Fortaleza. 2022. Disponível em: <https://barraportal.fortaleza.ce.gov.br/?from=fortaleza.ce.gov.br/noticias/fortaleza-alcanca-nota-maxima-no-indice-de-qualidade-do-meio-ambiente-pela-terceira-vez-consecutiva&title=Fortaleza>, acessado em 29 jul. 2024.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, . Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza Convênio de cooperação técnica entre Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE e Agência Reguladora de Fortaleza – ACFOR, Fortaleza, 2014. Disponível em https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/diagnostico_do_sistema_de_esgotamento_sanitario.pdf, acessado em 30 jul. 2024.
- População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente em 2021.
- ROSSINI, C. M.; CENCI, D. R. Interdisciplinaridade e educação ambiental: um diálogo sustentável. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 3, p. 1733–1746, 2020.

ZORZO, F. B.; LAZZARI, F.; SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F. de. Desenvolvimento sustentável e agenda 2030: uma análise dos indicadores brasileiros. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 19, n. 2, p. 160–182, 2022.



CAPÍTULO XXI

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PONTOS PARA REFLEXÃO

ENVIRONMENTAL EDUCATION AND CLIMATE CHANGE: POINTS FOR REFLECTION

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-21

Mario Marcos Lopes¹

Luan Brenner da Costa²

Alexssandra Correia Pinto³

Luana Estephany Gomes Costa⁴

Wilton Richard Claudino Valadares⁵

Geancarla Sousa Reis⁶

¹ Doutorando no Programa de Pós-graduação em Educação pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Docente do Centro Universitário Barão de Mauá. Professor de Educação Básica na Rede Municipal de Ribeirão Preto - SP

² Especialista em Gestão Pública e Docência no Ensino Superior pela Faculdade de Educação São Luís – FESL. Professor Conteudista da Faculdade Metropolitana.

³ Mestranda em Direitos Humanos pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁴ Especialista em Informática na Educação pelo Instituto Federal do Maranhão – IFMA; Licenciada em Ciências da Natureza pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

⁵ Mestre em Master of Science in Emergent Technologies in Education – Must University. Docente na Universidade Cidade de São Paulo.

⁶ Especialista em Gestão Pública Municipal pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Docente na Rede Estadual de Ensino do Maranhão.

RESUMO

A questão ambiental e as alterações climáticas são desafios cruciais da atualidade, exigindo uma abordagem abrangente e educativa para sua compreensão e enfrentamento. A Educação Ambiental é reconhecida como uma ferramenta essencial para a construção de sociedades sustentáveis e resilientes, que reconheçam a interdependência entre os seres humanos e o meio ambiente. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa consiste em investigar o papel da Educação Ambiental na promoção da conscientização e da ação em relação às mudanças climáticas. A metodologia adotada neste estudo será de cunho bibliográfico, com base na revisão e análise crítica da literatura especializada sobre a temática. Os resultados apontam que a educação, a inovação e o engajamento são fundamentais para promover uma mudança positiva em direção a um futuro mais justo e sustentável. A educação ambiental é indispensável para capacitar indivíduos e comunidades a compreenderem e enfrentarem os desafios globais de forma informada e eficaz.

Palavras-chave: Educação. Alterações climáticas. Meio ambiente.

ABSTRACT

Environmental issues and climate change are crucial current challenges, requiring a comprehensive and educational approach to understand and address them. Environmental Education is recognized as an essential tool for building sustainable and resilient societies, which recognize the interdependence between human beings and the environment. In this context, the objective of this research is to investigate the role of Environmental Education in promoting awareness and action in relation to climate change. The methodology adopted in this study will be bibliographic in nature, based on the review and critical analysis of specialized literature on the subject. The results indicate that education, innovation and engagement are fundamental to promoting positive change towards a fairer and more sustainable future. Environmental education is essential to empower individuals and communities to understand and face global challenges in an informed and effective way.

Keywords: Education. Climate change. Environment.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental e as mudanças climáticas emergem como desafios prementes da contemporaneidade, demandando uma abordagem integral e educativa para sua compreensão e enfrentamento. A crescente degradação dos ecossistemas, a perda de biodiversidade e os eventos climáticos extremos evidenciam a urgência de ações que promovam a conscientização e a mudança de comportamento em relação ao meio ambiente. Nesse contexto, a Educação Ambiental se destaca como uma ferramenta fundamental para a construção de sociedades sustentáveis e resilientes, que reconheçam a interdependência entre os seres humanos e o ambiente que os cerca.

A complexidade das mudanças climáticas exige uma abordagem interdisciplinar, que incorpore conhecimentos científicos, sociais, econômicos e culturais. A Educação Ambiental, ao promover uma visão integrada e holística do meio ambiente, contribui para a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de compreender a inter-relação entre os diversos aspectos que influenciam e são influenciados pelas mudanças climáticas. Dessa forma, ao invés de tratar as questões ambientais de forma isolada, a Educação Ambiental propicia uma compreensão mais ampla e contextualizada, incentivando a busca por soluções que considerem a complexidade dos desafios ambientais contemporâneos.

A necessidade de abordagens educativas voltadas para a conscientização ambiental se justifica pela percepção de que as mudanças climáticas representam uma ameaça real e iminente para a sobrevivência humana e a saúde do planeta. A falta de compreensão sobre as causas e consequências dessas mudanças contribui para a inação e para a perpetuação de práticas insustentáveis. Dessa forma, a Educação Ambiental se apresenta como um caminho para promover a reflexão crítica e o engajamento da sociedade na busca por soluções efetivas e sustentáveis.

Diante desse cenário, o objetivo geral deste estudo consiste em investigar o papel da Educação Ambiental na promoção da conscientização e da ação em relação às mudanças climáticas. Para tanto, serão delineados objetivos específicos que visam: analisar as principais abordagens teóricas e metodológicas da Educação Ambiental; compreender as causas e consequências das mudanças climáticas; identificar boas práticas de Educação Ambiental voltadas para o enfrentamento das mudanças climáticas; examinar o impacto das ações educativas na percepção e no comportamento das pessoas em relação ao meio ambiente; e

propor estratégias educativas eficazes para a promoção da sustentabilidade e da adaptação às mudanças climáticas.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo será de cunho bibliográfico, com base na revisão e análise crítica da literatura especializada sobre Educação Ambiental e mudanças climáticas. Para tanto, serão utilizadas fontes acadêmicas, como artigos científicos, livros, teses e dissertações, que abordem diretamente ou tangencialmente os temas em questão. A seleção das fontes será realizada por meio de consultas a bases de dados eletrônicas, como PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, entre outras, utilizando termos de busca relacionados à Educação Ambiental, mudanças climáticas, conscientização ambiental, adaptação e mitigação. A revisão da literatura será conduzida de forma sistemática, seguindo um protocolo pré-estabelecido para a identificação, seleção e análise dos estudos relevantes. Serão considerados critérios de inclusão, como a pertinência temática, o rigor metodológico e a atualidade dos materiais selecionados. Adicionalmente, serão realizadas buscas manuais em bibliografias de artigos e livros identificados, a fim de garantir a abrangência e a completude da revisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A história da humanidade é marcada por uma intrincada teia de eventos, protagonistas e transformações que moldaram as sociedades ao longo dos séculos (Albuquerque, 2007). Desde os primórdios da civilização, as interações entre diferentes culturas, ideias e sistemas de crenças têm desempenhado um papel fundamental na construção do mundo como o conhecemos hoje. Desde os grandes impérios da antiguidade até as revoluções industriais e tecnológicas da era moderna, cada era deixou sua marca indelével no curso da história humana.

Os avanços científicos e tecnológicos têm sido uma força motriz por trás das mudanças sociais, econômicas e culturais que definem nossa era contemporânea (Artaxo, 2020). Desde a descoberta do fogo até a revolução digital, a busca incessante pelo conhecimento e pela inovação tem impulsionado o progresso humano em todas as esferas da vida. No entanto, esse progresso não tem sido uniformemente distribuído, e as disparidades sociais e econômicas persistem como desafios prementes em muitas partes do mundo.

A globalização emergiu como um fenômeno central no século XXI, conectando as pessoas, os países e os mercados de uma forma sem precedentes na história (Layrargues e Lima, 2011). A ascensão das redes globais de comunicação e comércio transformou o mundo em uma aldeia global, onde as fronteiras físicas são cada vez menos significativas. No entanto, essa interconectividade também trouxe consigo novos desafios, como a propagação rápida de doenças, a migração em massa e a interdependência econômica.

A questão ambiental emergiu como uma das preocupações mais urgentes do nosso tempo (Lima, 2013), à medida que os impactos das atividades humanas sobre o planeta se tornam cada vez mais evidentes. Desde a poluição do ar e da água até o desmatamento e as mudanças climáticas, os ecossistemas do mundo estão sob crescente pressão devido à exploração desenfreada dos recursos naturais. Diante desse cenário, a sustentabilidade tornou-se um imperativo moral e prático, exigindo uma mudança fundamental na forma como interagimos com o meio ambiente.

A pandemia de COVID-19 provocou uma disrupção sem precedentes na vida global, alterando radicalmente a forma como trabalhamos, estudamos e nos relacionamos uns com os outros (Souza, 2022). As medidas de distanciamento social e as restrições de viagem transformaram o cotidiano de milhões de pessoas em todo o mundo, evidenciando a fragilidade das estruturas sociais e econômicas existentes. No entanto, a crise também trouxe à tona exemplos inspiradores de solidariedade, inovação e resiliência, demonstrando a capacidade da humanidade de se adaptar e superar adversidades.

A inteligência artificial e a automação estão redefinindo os limites do que é possível na era digital (Tamaio, 2014), prometendo revolucionar indústrias inteiras e transformar radicalmente a maneira como vivemos e trabalhamos. Desde carros autônomos até assistentes virtuais e sistemas de diagnóstico médico baseados em IA, as aplicações práticas da inteligência artificial estão se multiplicando rapidamente, abrindo novas oportunidades e desafios para a sociedade.

As mudanças demográficas estão remodelando a composição da população global (Vasconcellos Loureiro; Queiroz, 2011), à medida que os países enfrentam desafios relacionados ao envelhecimento da população, migração e urbanização. O aumento da expectativa de vida e a diminuição das taxas de natalidade estão alterando os padrões de consumo, trabalho e assistência social em todo o mundo, exigindo respostas criativas e abrangentes por parte dos governos e das instituições.

A educação continua a desempenhar um papel crucial na capacitação das gerações futuras e na promoção da igualdade de oportunidades em todo o mundo (Silva e Bezerra, 2016). No entanto, o acesso à educação de qualidade permanece um desafio para milhões de crianças e jovens em todo o mundo, especialmente em regiões afetadas pela pobreza, conflitos armados e desigualdades de gênero. Portanto, investir na educação é fundamental para construir sociedades mais justas, inclusivas e prósperas.

A saúde mental emergiu como uma preocupação crescente em muitas partes do mundo (Albuquerque, 2007), à medida que as pressões da vida moderna levam a um aumento nas taxas de ansiedade, depressão e outros transtornos mentais. A conscientização sobre a importância do bem-estar mental está aumentando, levando a um maior reconhecimento da necessidade de apoio psicológico e de políticas de saúde mental mais abrangentes.

Os direitos humanos continuam a ser uma questão central na agenda global (Artaxo, 2020), com avanços e retrocessos ocorrendo em diferentes partes do mundo. A luta contra a discriminação racial, de gênero e de orientação sexual permanece uma batalha crucial para garantir a igualdade de direitos e oportunidades para todos os indivíduos, independentemente de sua origem, identidade ou *status* socioeconômico.

A inovação tecnológica está transformando radicalmente a forma como produzimos, consumimos e compartilhamos informações e recursos em todo o mundo (Layrargues; Lima, 2011). A economia digital está gerando novas oportunidades de negócios e emprego, ao mesmo tempo em que desafia os modelos tradicionais de trabalho e regulação. No entanto, a rápida evolução da tecnologia também levanta questões importantes sobre privacidade, segurança e governança digital.

A crescente urbanização está remodelando as paisagens urbanas em todo o mundo (Lima, 2013), à medida que milhões de pessoas migram para as cidades em busca de oportunidades econômicas e melhores condições de vida. No entanto, o rápido crescimento das cidades também está exacerbando problemas como o congestionamento, a poluição e a escassez de moradia acessível, exigindo soluções inovadoras e sustentáveis para garantir cidades mais habitáveis e inclusivas.

A globalização da cultura está promovendo o intercâmbio de ideias, valores e práticas culturais em escala global (Silva; Bezerra, 2016), criando um mundo cada vez mais interconectado e diversificado. No entanto, também levanta preocupações sobre a

preservação da diversidade cultural e a homogeneização das identidades locais em face da influência dominante da cultura globalizada.

A crise climática continua a representar uma ameaça existencial para o planeta (Tamaio, 2014), à medida que os impactos das mudanças climáticas se tornam cada vez mais visíveis e devastadores. Desde ondas de calor extremo e furacões mais intensos até secas prolongadas e derretimento acelerado das calotas polares, os sinais do aquecimento global estão em toda parte. No entanto, a resposta global à crise climática continua a ser insuficiente, com muitos países ainda relutantes em adotar medidas ambiciosas de redução de emissões e adaptação.

A busca por fontes de energia limpa e renovável está se tornando uma prioridade urgente para governos, empresas e comunidades em todo o mundo (Vasconcellos Loureiro; Queiroz, 2011), à medida que os efeitos prejudiciais da dependência dos combustíveis fósseis se tornam cada vez mais evidentes. A transição para uma economia de baixo carbono é essencial para mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

O aumento da desigualdade econômica continua a ser um desafio significativo em muitas partes do mundo (Silva; Bezerra, 2016), com um pequeno grupo de indivíduos detendo uma parcela desproporcional da riqueza global. Essa disparidade de renda e riqueza não apenas mina a coesão social e a estabilidade política, mas também limita o potencial de crescimento econômico e desenvolvimento humano.

A promoção da paz e da segurança continua a ser uma prioridade global (Tamaio, 2014), à medida que conflitos armados, terrorismo e instabilidade política persistem em muitas regiões do mundo. A diplomacia, a cooperação internacional e o fortalecimento das instituições multilaterais desempenham um papel crucial na prevenção e resolução de conflitos, bem como na promoção do desenvolvimento sustentável e da justiça social.

A crise da biodiversidade representa uma ameaça crescente para os ecossistemas do mundo (Albuquerque, 2007), à medida que a perda de habitats, a poluição e a exploração insustentável de recursos naturais levam a uma diminuição alarmante na variedade e abundância de espécies. A conservação da biodiversidade é essencial não apenas para a saúde dos ecossistemas, mas também para o bem-estar humano e a resiliência das comunidades.

Diante de todos esses fatos, a ciência e a tecnologia continuam a desempenhar um papel crucial na solução dos desafios globais (Artaxo, 2020), oferecendo soluções inovadoras

para problemas complexos em áreas como saúde, energia, agricultura e meio ambiente. Investir em pesquisa e desenvolvimento é fundamental para impulsionar a inovação e promover o progresso humano em escala global.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após uma análise dos desafios globais apresentados ao longo deste texto, torna-se evidente que enfrentamos um panorama complexo e interconectado de questões socioambientais, econômicas e políticas. Desde as mudanças climáticas até a desigualdade econômica e a crise da biodiversidade, as ameaças que enfrentamos são urgentes e multifacetadas. Nesse sentido, é imperativo adotar uma abordagem holística e colaborativa para encontrar soluções eficazes e sustentáveis para esses desafios.

Um aspecto fundamental a ser considerado é a necessidade de uma maior cooperação internacional e solidariedade global na abordagem dos problemas compartilhados que enfrentamos. As questões como mudanças climáticas e saúde pandêmica não reconhecem fronteiras nacionais, exigindo uma resposta coordenada e inclusiva de todos os países e atores relevantes. Além disso, é essencial que os países mais desenvolvidos assumam uma responsabilidade proporcional às suas capacidades e históricos de emissões na busca por soluções equitativas e sustentáveis.

Por fim, é crucial reconhecer o papel fundamental da educação, da inovação e do engajamento cívico na promoção de uma transformação positiva em direção a um futuro mais justo e sustentável. Investir na educação ambiental, científica e cidadã é essencial para capacitar indivíduos e comunidades a entenderem e enfrentarem os desafios globais de maneira informada e eficaz. Além disso, promover uma cultura de inovação e empreendedorismo pode gerar soluções criativas e disruptivas para os problemas prementes que enfrentamos, impulsionando a transição para um mundo mais resiliente e equitativo.

REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados [online]**, São Paulo, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TRsRMLDdzxRsz85QNYFQBHs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2024.

ALBUQUERQUE, B. P. **As relações entre o homem e a natureza e a crise socioambiental**. Rio de Janeiro, RJ: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2007.

- LAYRARGUES, P. P.; LIMA, G. F. C. Mapeando as macro tendências político-pedagógicas da educação ambiental contemporânea no Brasil. In: Encontro Pesquisa em Educação Ambiental: a pesquisa em educação ambiental e a pós-graduação, VI, 2011, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 2011. v. 0. p. 01-15. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/educacao_ambiental/Layrargues_e_Lima_-_Mapeando_as_macro-tend%C3%AAsncias_da_EA.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.
- LIMA, G. F. C. Educação Ambiental e Mudança Climática: convivendo em contextos de incerteza e complexidade. **Ambiente e Educação**, São Paulo, v. 18, p. 91-112, 2013. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/2623/2404>. Acesso em: 14 maio 2024.
- SILVA, H. O.; BEZERRA, R. D. **A importância da educação ambiental no âmbito escolar**. Revista Interface, n. 12, p. 163–172, 2016. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/download/2007/9468/16309>. Acesso em: 14 maio 2024.
- SOUZA, L. B. **A crise climática na escola: como a problemática das mudanças climáticas está sendo trabalhada em livros didáticos do Ensino Médio?** 2002. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/240089>. Acesso em: 16 maio 2024.
- TAMAIIO, I. Educação Ambiental e mudanças climáticas: um diálogo necessário num mundo em transição. In: Congresso Internacional de Educación Superior - Taller de Medio Ambiente, 2014, Havana - Cuba. Memorias-Universidad 2014. **Anais...** Cuba: Ministerio de Educación Superior, 2014. v. 01. p. 01-1656.
- VASCONCELLOS, M. das M. N.; LOUREIRO, C. F. B.; QUEIROZ, G. R. P. C. A Educação Ambiental e a Educação em Ciências: uma colaboração no enfrentamento da crise socioambiental. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 1, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/3985>. Acesso em: 14 maio 2024.

CAPÍTULO XXII

MODELAGEM HIDROLÓGICA: CARACTERIZAÇÃO DOS MÉTODOS CURVE NUMBER (CN) E SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT)

HYDROLOGICAL MODELING: CHARACTERIZATION OF THE CURVE NUMBER (CN) AND SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT) METHODS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-22

Edyeleen Mascarenhas de Lima¹
Carlos Wagner Oliveira²
Estelita Lima Cândido³
Ana Célia Maia Meireles⁴

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER) da Universidade Federal do Cariri - UFCA, edyeleen.lima@aluno.ufca.edu.br;

² Doutor em Engenharia de Biosistemas. Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade – CCAB. Universidade Federal do Cariri – UFCA, carlos.oliveira@ufca.edu.br;

³ Doutora em Ciências Biológicas. Professora da Universidade Federal do Cariri – UFCA, estelita.lima@ufca.edu.br;

⁴ Graduada em Agronomia. Doutora em Engenharia Civil. Professora da Universidade Federal do Cariri – UFCA, ana.meireles@ufca.edu.br.

RESUMO

Embora o Brasil possua a maior disponibilidade hídrica do planeta, a região Nordeste enfrenta severas dificuldades relacionadas à escassez de água. Essa carência hídrica causa impactos significativos na sociedade, criando uma série de desafios para a preservação da vida e para o desenvolvimento socioeconômico. O uso de modelos hidrológicos e sedimentares pode ser uma ferramenta essencial para aprofundar a compreensão da dinâmica hídrica de uma região específica. Assim, o presente estudo teve como objetivo oferecer um panorama histórico da modelagem hidrológica e caracterizar os métodos *Curve Number* (CN) e *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) através de uma revisão de literatura. O SWAT, destaca-se como um dos modelos hidrológicos utilizados globalmente, pois abrange diversos aspectos hidrológicos e agronômicos. Torna-se uma ferramenta eficaz para ajudar os gestores a tomarem decisões em situações de conflito relacionadas ao uso da terra, especialmente quando aplicado a grandes bacias hidrográficas. Os métodos CN e SWAT desempenham um papel fundamental na análise do balanço hídrico em bacias hidrográficas, auxiliando na tomada de

decisões mais precisas para a gestão eficaz desses recursos. Com o passar dos anos, a utilização dessas ferramentas tem crescido, embora muitos pesquisadores ainda ressaltem os desafios impostos pela falta de dados disponíveis.

Palavras-chave: Bacia. Modelos Hidrológicos. Curva-número (CN). SWAT.

ABSTRACT

Although Brazil has the greatest water availability on the planet, the Northeast region faces severe difficulties related to water scarcity. This water shortage causes significant impacts on society, creating a series of challenges for the preservation of life and socioeconomic development. The use of hydrological and sedimentary models can be an essential tool to deepen the understanding of the water dynamics of a specific region. Thus, the present study aimed to offer a historical overview of hydrological modeling and characterize the *Curve Number* (CN) and *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) methods through a literature review. SWAT stands out as one of the hydrological models used globally, as it covers several hydrological and agronomic aspects. It becomes an effective tool to

help managers make decisions in conflict situations related to land use, especially when applied to large river basins. The CN and SWAT methods play a fundamental role in analyzing the water balance in river basins, helping to make more accurate decisions for the effective management of these

resources. Over the years, the use of these tools has grown, although many researchers still highlight the challenges posed by the lack of available data.

Keywords: Bowl. Hydrological Models. Curve-number (CN). SWAT.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a população do mundo tem aumentado de forma acelerada, o que tem gerado impactos nas águas, tanto em níveis locais quanto globais (Yang et al., 2012). Contudo, a partir da metade do século XX, essas crises começaram a se intensificar (FAPESP, 2015). As crises hídricas não são apenas problemas recentes; acontecem há séculos no Brasil e em várias partes do globo. Depois dos anos 70, o aumento das cidades no Brasil elevou a ocorrência desses eventos, uma vez que poucos países possuíam um planejamento adequado para a utilização do solo (Chaves, 2013).

O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica do mundo e destaca-se por possuir entre 15% e 20% da biodiversidade mundial, distribuídas em seus 6 biomas (Drummond; Antonini, 2006; EMBRAPA, 2008). A água é um recurso imprescindível para a vida, conforme disposto no Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, sendo um recurso natural limitado com valor econômico.

Os principais usos de água no Brasil, que utilizaram cerca de 84% do volume de água retirada, foram a irrigação (50,5%), o abastecimento urbano (23,9%) e a indústria (9,4%). Outros usos considerados foram o uso animal (8%), as termelétricas (5%), o abastecimento rural (1,6%) e a mineração (1,6%). Além disso, em 2022, mais de 1,5 milhão de pessoas foram afetadas por cheias (alagamentos, enxurradas e inundações). Por outro lado, cerca de 7 milhões de pessoas foram afetadas por secas e estiagens, sendo que aproximadamente metade delas vivem no Nordeste, região que contabilizou 45% dos registros desse tipo de fenômeno (ANA, 2023).

A falta de água impacta de maneira considerável a sociedade, pois gera diversos desafios para a preservação da vida e o crescimento socioeconômico. Essa questão é especialmente crítica na região semiárida do Nordeste do Brasil, onde a ocorrência de secas é mais habitual. Por isso, é essencial entender de forma mais detalhada os processos hidrológicos dessa área (Lima et al., 2012).

A escassez de chuvas e a imprevisibilidade de seu padrão, em conjunto com a condição hidrogeológica, resultam em pouca disponibilidade de água na área. O clima semiárido é caracterizado não só pela falta de chuvas, inferiores a 900 mm, mas também por altas temperaturas durante todo o ano e elevadas taxas de evapotranspiração. A evapotranspiração elevada costuma exceder os acumulados irregulares de chuva, o que leva a um balanço hídrico negativo (ANA, 2020).

Dessa forma, o uso de modelos hidrológicos e sedimentares pode se revelar uma ferramenta fundamental para a compreensão mais precisa da dinâmica hídrica de uma determinada região, além de poder auxiliar na investigação espacial desses processos físicos em estudos científicos (De Farias, 2021). O modelo hidrológico é uma ferramenta bastante eficaz que possibilita a representação, compreensão e simulação do comportamento de uma bacia hidrográfica, por meio da equacionalização dos processos (Tucci, 1998). Tornando-se itens importantes para o preenchimento de diversas lacunas de informações que se fazem necessárias no planejamento e gestão de recursos hídricos (Marinho Filho *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo fornecer um resumo histórico da modelagem hidrológica e descrever as características dos métodos Curve Number (CN) e Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MODELOS HIDROLÓGICOS - BREVE HISTÓRICO

A prática de modelagem hidrológica tem raízes centenárias, datando de mais de cem anos atrás, quando se começou a equacionar diversos processos hidrológicos. Os primeiros estudos sobre hidrologia tinham fins bastante práticos, cerca de 4000 anos, foi instalado um “nilômetro” no Rio Nilo, um instrumento utilizado para medir o nível das águas, acessível somente aos sacerdotes. A tributação cobrada ao longo do ano era proporcional ao nível do rio (Filho *et al.*, (2012). A primeira menção à medição da chuva remonta a aproximadamente 2000 anos atrás, na Índia. Neste contexto, o total de precipitação anual também era utilizado como base para o cálculo de impostos (Teixeira, 2010).

Desse modo, estima-se que a modelagem hidrológica tenha surgido por meio do equacionamento de alguns processos hidrológicos, como, o Método Racional introduzido por volta de 1850, com o objetivo de estimar a vazão máxima resultante de um evento de chuvas, sendo utilizada para áreas de drenagem relativamente pequenas. Este método se tornou

conhecido na literatura devido à sua utilização no planejamento de sistemas de esgoto nos últimos anos do século XIX (Todini, 2007; Lima, 2011).

Além disso, tiveram grandes avanços por volta de 1930, quando os países desenvolvidos começaram a desenvolver seus próprios programas de pesquisas hidrológicas em resposta a alguns problemas de engenharia como o projeto de esgoto sanitário e sistemas de drenagem, sendo a vazão de projeto o aspecto mais relevante (Todini, 1988). Podemos citar desse modo os programas de pesquisas hidrológicas, Sherman (1932), o hidrograma unitário; Horton (1933), a teoria da infiltração; Gumbel (1941) propôs a distribuição de valores extremos para análise de frequência de dados hidrológicos.

Na década de 1960, com a chegada dos primeiros computadores, diversos modelos começaram a integrar funções lineares e não lineares dentro de programas de *software*, proporcionando um avanço significativo na modelagem hidrológica, uma vez que permitiu o manuseio de um volume considerável de dados em um curto período de tempo (Wagener, Wheeler, Gupta 2004).

Atualmente a sofisticação disponível através de mapas computadorizados e o aumento do emprego do Sensoriamento Remoto (SR) com uso de imagens de satélites torna mais fácil a utilização de modelos hidrológicos. Esses progressos trouxeram diversas vantagens, como a simplificação na realização de projetos, a diminuição de custos e a obtenção de resultados em prazos mais curtos. Isso permitiu a análise rápida de múltiplos cenários, muitos dos quais não eram testados em experimentos reais por conta da complexidade de sua execução, facilitando assim a criação de pesquisas sobre o impacto ambiental (Fernandes; Galvincto; Freire, 2012).

Modelo hidrológico refere-se a uma forma matemática de descrever o fluxo da água e seus componentes numa determinada área da superfície terrestre ou subterrânea (Maidment, 1993). Trata-se de um recurso empregado para ilustrar os processos que acontecem na bacia hidrográfica e antecipar os impactos das diversas ocorrências em relação aos valores que foram observados (Tucci, 1998).

A grande parte dos modelos hidrológicos têm o objetivo de análise da bacia hidrográfica, que compreende as áreas que coletam e liberam água em direção a um ou mais cursos de água que se unem em um único ponto de saída. A bacia hidrográfica pode ser usada como referência espacial em modelos que analisam propriedades gerais de toda a área, ou então, pode ser dividida em diferentes segmentos para levar em conta as suas características distribuídas no espaço (Macedo, 2013).

A representação de modelos hidrológicos se configura como um elemento essencial para enfrentar os desafios na administração dos recursos hídricos. Ao aplicar princípios de uma ou mais teorias e conceitos, esses modelos conseguem simular os fenômenos relacionados à água ao longo de um período específico, permitindo a estimativa de componentes do fluxo hidrológico que, de outra forma, estariam não identificados ou não mensurados (Filho *et al.*, 2012). Esses modelos podem ser categorizados com base em diversas características, como: o tipo de variáveis utilizadas (estocásticas e determinísticas), a natureza da relação entre essas variáveis (empíricas e conceituais), a maneira de representar os dados (discretos e contínuos), a presença ou ausência de relações espaciais (pontuais e distribuídas) e a existência de dependência temporal (estatísticos e dinâmicos), conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização dos modelos hidrológicos.

| TIPOS DE MODELOS HIDROLÓGICOS | |
|--|--|
| Modelos estocásticos e determinísticos | Estocástico refere-se quando ao menos uma das variáveis utilizadas exibe um comportamento aleatório; caso contrário, é chamado de determinístico (Rennó; Soares, 2003). |
| Modelos empíricos e conceituais | Baseiam-se na adequação dos dados calculados a partir das informações observadas, enquanto os modelos fundamentados em processos empregam funções que consideram aspectos físicos (Tucci, 2005). |
| Modelos discretos e contínuos | Caracterizados por mudanças de estados que ocorrem em intervalos de tempo definidos, enquanto, que os modelos contínuos analisam os fenômenos de maneira contínua em relação ao tempo. A definição do intervalo de tempo escolhido está relacionada ao fenômeno que se deseja representar e à precisão dos resultados pretendidos (Tucci, 2005). |
| Modelos pontuais e distribuídos | Demandam o processamento de uma imensa quantidade de dados para que possam ser organizados em arquivos de saída (Neto, 2000). Nesses modelos, tanto os parâmetros quanto às variáveis apresentam variações temporais e espaciais (Santos, 2002). |
| Modelos estatísticos e dinâmicos | Aqueles que, a partir de um único conjunto de dados de entrada, geram um resultado resultante de uma simulação feita em um único passo enquanto que os modelos dinâmicos utilizam o resultado de uma interação específica como entrada para a próxima interação (Rennó; Soares, 2003). |

Elaboração: Autor, 2024.

2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS

2.2.1. Método Curva-Número (CN)

O Método CN-SCS, também conhecido como *Curve Number - Soil Conservation Service* foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1972).

Relaciona-se a um modelo de chuva-deflúvio que se baseia na relação empírica entre um determinado evento de chuva e as características da superfície da bacia hidrográfica, utilizado para estimar o escoamento superficial direto (Q) ou deflúvio (Alves, 2016).

Considerada uma medida amplamente empregada para estimativa de fluxos em pequenas áreas, utilizando informações obtidas por meio de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Ademais, a análise da variação temporal da capacidade de retenção de águas pluviais em bacias hidrográficas, com base no monitoramento do uso e cobertura do solo por meio de imagens de satélite, também foi investigada para aprimorar a gestão e o manejo dos recursos hídricos. O método se popularizou em estudos hidrológicos devido à sua fácil aplicação (Soares *et al.*, 2017).

Para o cálculo do escoamento superficial do modelo CN da SCS (1972) é realizado utilizando a equação 2.

$$Q = \frac{(P-0,2xS)^2}{P+0,8xS} \quad (2)$$

Onde P é a precipitação média mensal (mm mês⁻¹), S é a capacidade máxima de armazenamento de água (saturação) da camada superior do solo na bacia hidrográfica (mm mês⁻¹).

A capacidade de recarga máxima está associada às características físicas da bacia, em termos de solos e cobertura vegetal (Equação 3).

$$S = \frac{24500}{CN} - 254 \quad (3)$$

O CN varia de 0 a 100, onde 0 representa total permeabilidade da água no solo, e 100 total impermeabilidade. Nota-se que, para CN = 0, a teoria prevê que S tenderá ao infinito, ou seja, toda a precipitação seria absorvida pelo solo e não haveria escoamento superficial direto. Já para CN = 100, S será nulo, sem armazenamento de água no solo, levando à conversão total da precipitação em escoamento superficial direto. Os índices de CN são estabelecidos conforme a interação entre a categoria hidrológica do solo e o manejo da cobertura vegetal e solo, os quais estão relacionados à umidade prévia na bacia hidrográfica (Sartori, 2004).

Os valores de CN foram tabulados pelo SCS e variam de acordo com o tipo de solo, classificado em quatro grupos (A, B, C ou D onde o grupo A representa solos com maior permeabilidade e menor escoamento superficial e a classe D o extremo oposto), condições de umidade do solo e uso e cobertura do solo (D'asaro; Grillone, 2012). A Tabela 1, representa os valores CN em função do Uso do Solo e Grupo Hidrológico.

Tabela 1: Valores CN - Uso do Solo e Grupo Hidrológico

| USO DO SOLO | GRUPO HIDROLÓGICO | | | |
|---------------|-------------------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Mata | 36 | 60 | 70 | 76 |
| Campo | 36 | 60 | 73 | 79 |
| Edificações | 77 | 85 | 90 | 92 |
| Corpos d'água | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Agricultura | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Mineração | 72 | 82 | 87 | 89 |

Elaboração: Autor, 2024. Fonte: Tucci, 1995; Tucci (2002); Soares *et al.*, (2017)

Pela sua praticidade e abrangência, ao considerar vários fatores em um único parâmetro (CN), esse método é amplamente reconhecido por engenheiros e especialistas em hidrologia (Mishra; Singh, 2003, 2006, Soulis *et al.*, 2009), sendo cada vez mais integrado em modelos de simulação hidrológica (Soulis; Valiantzas, 2012).

2.2.2. Soil And Water Assessment Tool (SWAT)

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), está entre um dos modelos hidrológicos mais utilizados em todo o mundo (Tuppad *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013), porque inclui vários elementos hidrológicos e agrônômicos, tornando-o uma ferramenta versátil para auxiliar os administradores na decisão diante de conflitos no uso da terra, especialmente, quando empregado para grandes bacias hidrográficas (Tibebe; Bewket, 2011).

Trata-se de um modelo de simulação hidrológica desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* (ARS) em *Temple*, Texas, nos Estados Unidos (Neitsch *et al.*, 2005). Inicialmente, foi desenvolvido na década de 1990 com função de contribuir para a gestão das águas e movimentação dos sedimentos nas bacias rurais dos Estados Unidos. O SWAT é resultado de um modelo que combina elementos estruturais de outras ferramentas, sendo seguimento de mais de três décadas de experiência em modelagem dos pesquisadores do ARS (Gassman *et al.*, 2007).

Desse modo, o SWAT, é um modelo matemático com parâmetros semi-distribuídos criado para antecipar os efeitos das práticas de manejo do solo na água, sedimentos e produção de produtos químicos agrícolas em bacias hidrográficas, tornando-se, padrão para calcular impactos a longo prazo (Neitsch, 2012). Além disso, permite a avaliação dos efeitos resultantes de variados cenários de uso e ocupação do solo, métodos de manejo e condições climáticas na regulação da água, nos sedimentos e na pureza da água (Neitsch *et al.*, 2009)

Progressivamente, o modelo SWAT, tem expandido seu alcance no meio acadêmico e científico. Destacando-se entre os modelos de simulação hidrológica. As razões para esse destaque residem principalmente na sua abrangente capacidade de modelagem, que incorpora diversos parâmetros hidrológicos, tornando-o uma ferramenta versátil para auxiliar instituições públicas e pesquisadores na tomada de decisões diante de conflitos relacionados ao uso do solo que possam resultar em processos erosivos (Chu *et al.*, 2004).

Nos últimos dez anos houve um expressivo aumento no uso da modelagem do SWAT no Brasil. Diversos estudos foram realizados com o intuito de avaliar desde a eficácia do modelo na representação das bacias hidrográficas do país até análises mais complexas, tais como a avaliação dos impactos gerados nas bacias - como mudanças no volume de água escoado superficialmente, transporte de sedimentos e aditivos agrícolas - decorrentes da alteração do uso do solo ou do desmatamento de florestas (Bressiani *et al.*, 2015).

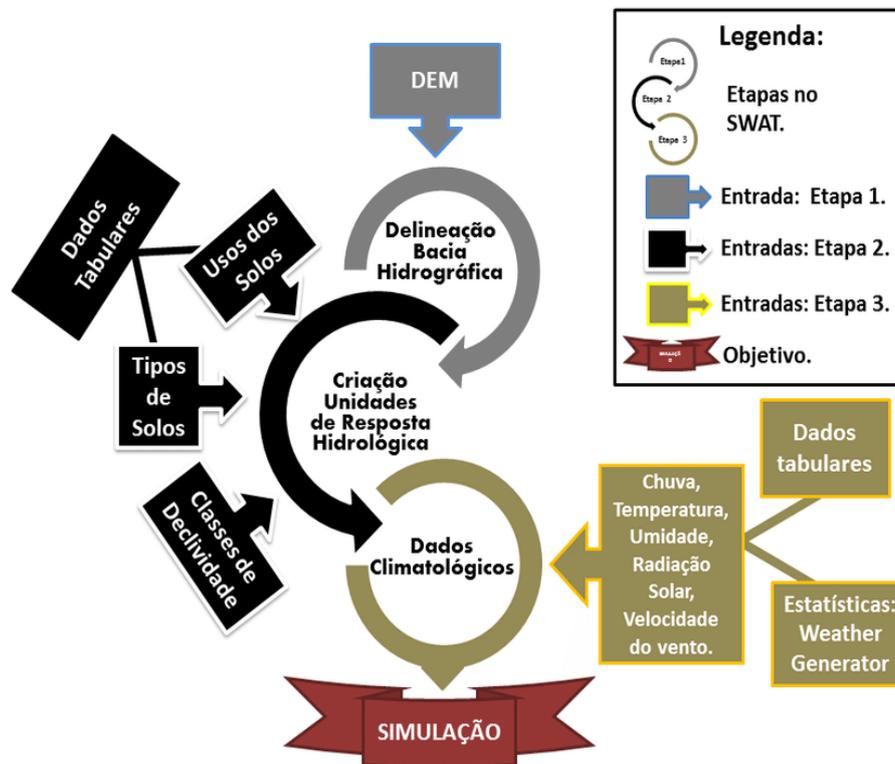
Atualmente, o SWAT é amplamente reconhecido como um dos modelos mais eficazes para prever os efeitos de longo prazo das ações de manejo da terra e da água, produção de sedimentos e liberação de produtos químicos agrícolas (perda de nutrientes) em bacias hidrográficas complexas com variados tipos de solos, usos do solo e práticas de gestão (Santos; Oliveira; Lollo, 2019). Refere-se a um sistema semi-distribuído que fragmenta a bacia hidrográfica em unidades de resposta hidrológica (HRU) que compartilham características semelhantes, como tipos de solo, uso do solo, variação de declividade do terreno, dados meteorológicos e dessa forma calcula o balanço hídrico diário (Gassman *et al.*, 2007).

O SWAT utiliza o conceito do índice CN para calcular o escoamento superficial e a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) para estimar a erosão do solo. Este modelo é eficiente do ponto de vista computacional para análises em grandes bacias hidrográficas, permitindo simulações de longos períodos de tempo (mais de 100 anos) para avaliar os impactos das mudanças no uso da terra e na ocupação do solo (Machado, 2002).

Além do mais, a análise do impacto de várias combinações de tipo de solo e de cobertura vegetal na erosão do solo e na contaminação por sedimentos e poluentes (Mishra; Kar; Singh, 2007) é essencial. Essa avaliação permite a identificação de áreas onde a erosão e a contaminação ambiental são mais intensas, assim como a separação dos efeitos de diferentes estratégias de gestão da bacia hidrográfica sobre seu comportamento hidrológico. A capacidade do modelo em fornecer respostas ajuda a embasar a tomada de decisões e a avaliação dos efeitos de diferentes abordagens dentro de uma mesma bacia hidrográfica

(Baker; Miller, 2013). A Figura 1 está representada nas várias etapas percorridas pela modelagem SWAT proposta por Da Silva; Christofaro (2017).

Figura 1: Etapas percorridas pela modelagem SWAT.



Fonte: Da Silva; Christofaro (2017).

A Figura 1 representa de forma resumida as etapas mais importantes a serem executadas. As informações de entrada consistem em: modelos digitais de elevação (DEM); uso e ocupação do solo; classificação dos tipos de solo; inclinação do terreno; e variáveis climáticas como temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Com base na topografia apresentada pelos DEMs, o modelo define a bacia hidrográfica, dividindo-a em sub-bacias em um primeiro estágio. Em um segundo estágio, cada sub-bacia é subdividida em áreas homogêneas em relação à inclinação, tipo e uso do solo. Essas áreas são chamadas de unidades de resposta hidrológica (HRU) e são empregadas pelo modelo para calcular a maior parte dos componentes simulados, pois agrupar áreas semelhantes em uma única HRU facilita o processamento (Arnold *et al.*, 2012b).

O modelo SWAT é conceitual (pois é baseado nas propriedades físicas da bacia), determinístico (não depende de aleatoriedade nos seus cálculos e para cada conjunto de dados de entrada gera um conjunto de dados de saída igual), semidistribuído (gera informação

para a bacia como um todo ou para parte específica, caso seja necessário) e contínuo (devido ao fato de basear-se em longas séries históricas e gerar resultados diários por longos períodos).

No entanto, é um modelo robusto que necessita de combinação e disponibilidade de dados, às vezes impedindo a execução plena do modelo. O SWAT apresenta bons resultados para previsão de impactos decorrentes da mudança de ocupação do solo e mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, magnitude de eventos extremos e produção de sedimentos em bacias hidrográficas agrícolas (Dos R. Pereira *et al.*, 2016, Rodrigues *et al.*, 2015).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que a modelagem hidrológica se consolidou como uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica da água em determinadas regiões. Além disso, representa um recurso valioso que apoia a tomada de decisões em projetos relacionados a recursos hídricos, permitindo a implementação de técnicas mais eficazes. No Brasil tem se observado a maior utilização dessas modelagens sendo implementadas para uma representação mais precisa dos processos físicos.

Os métodos CN e SWAT são particularmente importantes para analisar o comportamento do balanço hídrico em bacias hidrográficas, contribuindo assim para decisões mais acertadas na gestão eficiente desses recursos. Ao longo dos anos, essas ferramentas têm sido cada vez mais utilizadas, mas ainda existem muitos autores que destacam as dificuldades enfrentadas devido à escassez de dados disponíveis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. J. Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos no Sul de MG. 2016.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Cobrança pelo uso de recursos hídricos. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, Brasília, v. 7, p. 1-85, 2020.

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual. Brasília: ANA, 2024. 118 p., il.
- ARNOLD, J. G. et al. *Large area hydrologic modeling and assessment*. Part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 34, n. 1, p. 73–89. 1998.
- ARNOLD, J. G. et al. *SWAT: Model use, calibration, and validation*. *Transactions of the ASABE*, v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.
- BAKER, T. J.; MILLER, S.N. *Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed*. *Journal of hydrology*, v. 486, p. 100-111, 2013.
- BRESSIANI, D.A. et al. *Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015.
- CARVALHO NETO, J.G.; SRINIVASAN, V.S.; RUFINO, I.A.A. Aplicação do modelo SWAT para estudo de cenários hipotéticos na bacia hidrográfica do riacho dos namorados no Cariri Paraibano. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 48–58, 2011.
- CHAVES, M. B. Previsão e Modelagem de áreas de inundação no município de Rio Largo/AL. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil. Centro de Tecnologia. 2013.
- CHU, T. W. et al. *Evaluation of the SWAT model's sediment and nutrient components in the Piedmont physiographic region of Maryland*. *Transactions of the ASAE*, v. 47, n. 5, p. 1523-1538, 2004.
- D'ASARO, F.; GRILLONE, G. *Empirical investigation of curve number method parameters in the Mediterranean area*. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 17, n. 10, 2012. p. 1141-1152.
- DA SILVA, N.D.M.; CHRISTOFARO, C. Calibração do modelo hidrológico SWAT para estimativa da vazão em sub-bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha. *Revista Geografias*, p. 31-39, 2017.
- DRUMMOND, G.M.; ANTONINI, Y. (2006). A contribuição da Fundação Biodiversitas para implementação do artigo 7º da Convenção sobre Diversidade Biológica. In: N. Bensusan et al. (Orgs.) *Biodiversidade: para comer, vestir ou passar no cabelo Para mudar o mundo!* (pp. 31-48). São Paulo, Peirópolis.
- EMBRAPA. Cerrado: ecologia e flora. Portal Embrapa. Volume 1. Unidade Embrapa Cerrados. 2008.

- FERNANDES, J. G.; GALVÍNIO, J. D.; DOS SANTOS FREIRE, M. B. O Modelo SWAT e suas Possibilidades de Aplicações em APL Agrícolas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 1, p. 115-126, 2012.
- FILHO, G.M.M.; ANDRADE, R.S.; ZUKOWSKI, J.C.; FILHO, L.N.L.M. Modelos hidrológicos: Conceitos e aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais, Canoas*. v.6, n.2, 35 a 47p. 2012.
- FILHO, G. M. et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.
- GASSMAN, Philip W. et al. *The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions*. *Transactions of the ASABE*, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.
- LIMA, I. P. C. de et al. Avaliação dos processos hidrológicos em uma bacia do semiárido com o modelo SWAT calibrado com evapotranspiração por satélite. 2022.
- LIMA, L. S. de. Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- MACEDO, M. J.H. Aplicações de redes neurais artificiais e satélite TRMM na modelagem chuva-vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu/BA. 2013. 109p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2013.
- MACHADO, F. W. Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais. 2005. Tese de Doutorado. MSc. Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil.
- MACHADO, R. E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2002. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. doi:10.11606/T.11.2002.tde-10072002-161200.
- MAIDMENT, D. R. *Handbook of Hydrology, USA: McGraw-Hill, Inc.*, 1993.7
- MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.
- MISHRA, A.; KAR, S.; SINGH, V. P. *Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield*. *Water Resources Management*, v. 21, p. 1899-1913, 2007.
- MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology* 'Kluwer'Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 1-4020- 1132-6, 2003.

- NEITSCH, S.I. *Soil & Water Assessment Tool. Input/Output Documentation. Version 2012. Texas Water Resources Institute, 2012. 650p.*
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.R.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.J. *Soil and water assessment tool: theoretical documentation – version 2005. SERVICE, G-S.A.W.R.L. – A. R, Texas USA, p. 525, 2005.*
- SANTOS, F. M.; OLIVEIRA, R.P.; LOLLO, J. A. A influência do modelo digital de elevação na modelagem hidrológica semi-distribuída: uma aplicação do modelo SWAT.
- SARTORI, A. Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. 2004. 161fl. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.
- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, V. C. L.; SILVA, L. P. *Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v. 185, n. 8, p. 8977-8990, 2013.*
- SINGH, V. P. *Hydrologic modeling: progress and future directions. Geoscience letters, v. 5, n. 1, p. 1-18, 2018.*
- SOARES, M. R. G. J. et al. Eficiência do método curve number de retenção de águas pluviais. Mercator (Fortaleza), v. 16, p. e16001, 2017.
- SOULIS, K. X. et al. *Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. Hydrology and Earth System Sciences, v. 13, n. 5, p. 605-615, 2009.*
- SOULIS, K. X.; VALIANTZAS, J. D. *Variation of runoff curve number with rainfall in heterogeneous watersheds. The Two-CN system approach. Hydrology and Earth System Sciences, v. 16, n. 3, p. 1001-1015, 2012.*
- TEIXEIRA, C. A. Apostila de hidrologia aplicada. Curitiba: UTFPR, 2010.
- TIBEBE, D. BEWKET, W. *Surface runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta catchment, Ethiopia. Land Degradation and Development, v. 22, n. 6, p. 551-564, 2011.*
- TODINI, E. *Hydrological catchment modelling: past, present and future. Hydrology and Earth System Sciences, Oxford, GB, v. 11, n. 1, p. 468-482, 2007*
- TODINI, E. *Rainfall-runoff modeling—Past, present and future. Journal of hydrology, v. 100, n. 1-3, p. 341-352, 1988.*

- TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos, Ed. Universidade /UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p
- TUPPAD, P.; DOUGLAS-MANKIN, K. R.; LEE, T.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic/water quality model: extended capability and wider adoption. Transactions of the ASABE*, v. 54, p. 1677-1684, 2011.
- USDA. *Soil Conservation Service. National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology. USDA Soil Conservation Service, Washington DC. 1972.*
- WAGENER, T. ; GUPTA, H. V.; WHEATER, H. S. *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments. World Scientific, 2004.*
- YANG, X.L.; REN, L.L.; SINGH, V.P.; LIU, X.F.; YUAN, F.; JIANG, S.H.; YONG, B. 2012. *Impacts of land use and land cover changes on evapotranspiration and runoff at Shalamulun River watershed, China. Hydrology Research. v43 (1-2), 23-37p.*

VULNERABILIDADE À EROSÃO E AO ASSOREAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA (SE)

VULNERABILITY TO EROSION PROCESSES IN THE JAPARATUBA RIVER BASIN (SE)

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-23

Maria Cecília Alves de Almeida Rocha ¹

Raisa Rafaela Reis de Jesus ²

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento ³

¹ Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Sergipe – UFS

² Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Sergipe – UFS

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Sergipe – UFS

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do rio Japaratuba, no estado de Sergipe, tem sido intensamente impactada por atividades agropecuárias e extrativista, demandando do uso de tecnologias eficientes para a análise da interferência antrópica. Neste sentido, este estudo discorre sobre a vulnerabilidade à erosão hídrica do solo e ao assoreamento dos cursos fluviais da referida bacia por técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A metodologia aplicada foi a integração qualitativa da cobertura do solo, densidade de drenagem, classes de declividade e hipsometria. A confecção dos mapas de declividade, hipsometria e densidade de drenagem, foram realizados a partir dos dados altimétricos do Projeto Topodata, e a compilação do mapa de cobertura do solo Coleção do MapBiomias. Estes procedimentos foram realizados nos programas de geoprocessamento SPRING e QGIS. A pastagem e agricultura são as classes de uso do solo predominantes, principalmente, nas regiões central e sudoeste da bacia, a rede de drenagem apresenta maior concentração, somado aos declives e altitudes do terreno moderados, resultando em um maior escoamento superficial. Consequentemente, estas áreas são mais suscetíveis aos processos erosivos, cujos sedimentos transportados depositam-se nas áreas de baixas altitudes e planas da bacia, ocasionando o assoreamento dos corpos d'água. Em síntese, a análise destacou as áreas mais vulneráveis à erosão e ao processo de assoreamento em ambientes geológico-geomorfológico caracterizados pelas planícies fluviais e fluviomarinhas, onde medidas de planejamento devem ser tomadas no sentido de mitigar o processo de degradação ambiental.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Sensoriamento remoto. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The Japaratuba River Basin, in the state of Sergipe, has been intensely impacted by agricultural and extractive activities, requiring the use of efficient technologies for the analysis of anthropic interference. In this sense, this study discusses the vulnerability to soil erosion and silting of river courses in the aforementioned basin using remote sensing and geoprocessing techniques. The methodology applied was the qualitative integration of soil cover, drainage density, slope classes and hypsometry. The preparation of slope, hypsometry and drainage density maps was carried out using altimetric data from the Topodata Project, and the compilation of the soil cover map from the MapBiomias Collection. These procedures were performed in the SPRING and QGIS geoprocessing programs. Pasture and agriculture are the predominant land use classes, mainly in the central and southwestern regions of the basin. The drainage network presents a greater concentration, added to the moderate slopes and altitudes of the terrain, resulting in greater surface runoff. Consequently, these areas are more susceptible to erosion processes, whose transported sediments are deposited in the low-altitude and flat areas of the basin, causing the silting of water bodies. In summary, the analysis highlighted the areas most vulnerable to erosion and the silting process in geological-geomorphological environments characterized by fluvial and fluviomarine plains, where planning measures should be taken to mitigate the process of environmental degradation.

Keywords: Environmental degradation. Remote sensing. Geoprocessing.

1. INTRODUÇÃO

A transformação dos métodos de produção decorrente da Revolução Industrial, intensificou a diversidade dos impactos adversos nas bacias hidrográficas. Estas são reservatórios de água e sedimentos e suas características físicas como área, declividade, hipsometria e cobertura do solo podem influenciar na disponibilidade hídrica (Borges; Oliveira, 2021). De acordo com Sousa e Paula (2019), o uso acentuado do solo e a intensa precipitação favorecem a degradação ambiental, facilitando o escoamento superficial ocasionando os processos erosivos e de assoreamento dos corpos hídricos.

As mudanças ocorridas ao longo dos anos podem afetar direta e indiretamente a bacia hidrográfica, e é um indicador passível dessas alterações são as redes de drenagem onde é possível haver aumento ou diminuição de canais, como também afetar sua estrutura e forma (Santos; Nascimento, 2019). Os autores relatam que quanto mais concentradas são as redes de drenagem, maior o escoamento superficial, potencializando as erosões e de suas consequências, como o assoreamento, perda de solos, da fertilidade e da biodiversidade.

Oliveira et al. (2022) define o processo erosivo como o desprendimento, arraste e deposição de partículas em decorrência do impacto da gota de água no solo exposto, provocando a perda de nutrientes, empobrecimento do solo, como também a eutrofização de corpos d'água. Conforme a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, retrata em um dos seus fundamentos que a bacia é uma unidade territorial sendo um órgão deliberativo que auxilia na gestão dos recursos hídricos contribuindo garantir o uso racional e sustentável da água no presente e nas próximas gerações (Brasil, 1997).

Desta forma, cada bacia possui suas características peculiares, com isto, para obter uma adequada gestão e aplicar técnicas de geotecnologias, são fundamentais para identificar os processos erosivos com a finalidade de prevenir a degradação do solo e dos corpos hídricos. As geotecnologias tornaram-se eficazes por consistirem em tecnologias que viabilizam o tratamento de dados, permitindo a visualização e análise de áreas vulneráveis e suscetíveis à dinâmica do meio físico, como a erosão e o assoreamento.

Diante deste contexto, para a aplicação destas tecnologias referente ao processo erosivo, utilizam-se vários métodos de interpolação estatística e dentre um deles, destaca-se o estimador de densidade Kernel. Segundo Nascimento e Silva (2019), o estimador de Kernel

é um interpolador, ou seja, uma forma não-paramétrica que viabiliza estimar o fenômeno em toda a área, mesmo que não haja ocorrência, em que corrobora estudos sobre a bacia hidrográfica.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho foi realizar uma análise preliminar da vulnerabilidade à erosão do solo e ao assoreamento dos corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba a partir da integração qualitativa da cobertura do solo, densidade de drenagem, classes de declividade e hipsometria.

2. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO

Na literatura científica, os conceitos de bacia hidrográfica estavam relacionados com o espaço físico organizado de acordo com o escoamento hídrico, definida como uma área de captação natural da água de precipitação composta por vertentes e drenagens formadas por cursos de água que converge para o exutório (Tucci, 1997). Seu conceito, como um conjunto de terras drenadas por um rio principal ou sistema fluvial (Christofolletti, 1980), foi ampliado ao longo das últimas décadas, deixando de ser puramente hidrológico para consubstanciar o encadeamento sistêmico dos fatores naturais e antrópicos que incidem em sua área (Mendonça et al, 2020). No entanto, antes de 8 de janeiro de 1997, quando foi sancionada a Lei nº 9.433 (conhecida como Lei das Águas do Brasil), muitos pesquisadores já utilizavam a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão em decorrência do seu aspecto integrador entre os elementos naturais e sociais.

Dessa forma, a bacia hidrográfica agrega uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas que nela se desenvolvem, como unidade básica deve articular o planejamento dos recursos hídricos com o uso e planejamentos regional, estadual e nacional (Brasil, 1997). Essa abordagem denota um significado mais apropriado para estabelecer políticas públicas, à luz da sustentabilidade ambiental, para a utilização adequada e conservação dos recursos naturais em uma bacia hidrográfica. Reflexões sobre crescimento socioeconômico com base na sustentabilidade ambiental, mitigando o impacto negativo na qualidade de vida decorrentes do uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas são realizadas por vários autores (Flauzino et al., 2016; Ziani et al., 2017).

No estado de Sergipe, de acordo com a Lei nº 3.870 de 25 de setembro de 1997, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação de políticas públicas, e a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, integrada com os usos dos recursos naturais e

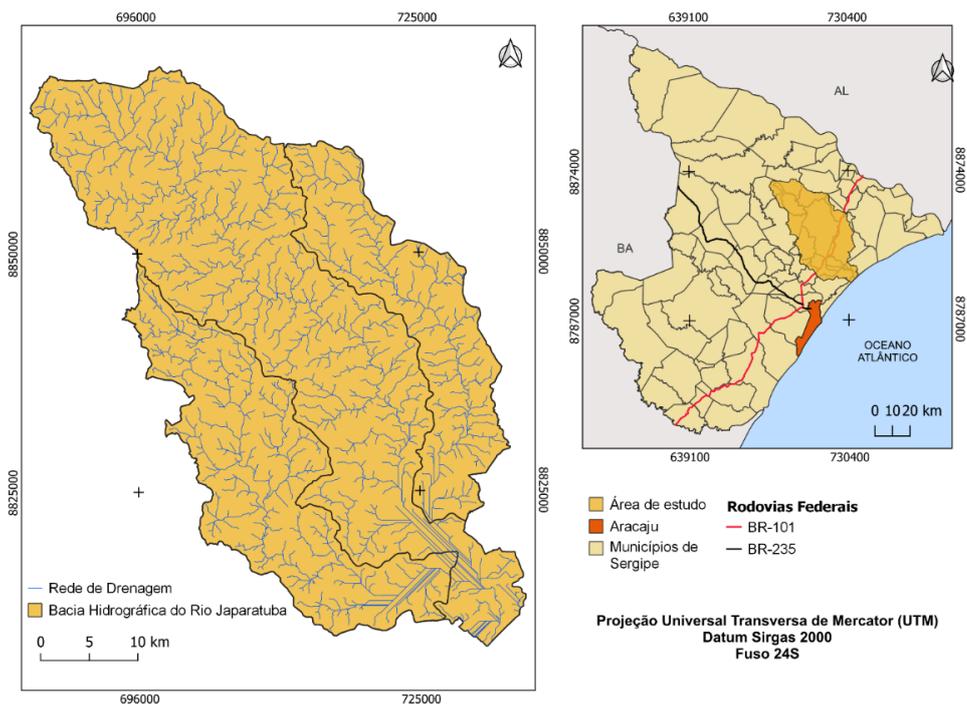
propor alternativas de evolução das atividades produtivas e de modificações do uso e cobertura da terra (Estado de Sergipe, 1997). A partir dessa lei, os mapeamentos do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (BHRJ) no estado de Sergipe, por técnicas de sensoriamento remoto, tornaram-se sistemáticos. Ressalta-se que a compreensão dos padrões de organização do espaço e transformação da paisagem é fundamental para o planejamento de políticas públicas e gestão socioambiental.

Desde o século XIX, o modo de produção rural no Estado de Sergipe, em particular, na Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba, foi a criação de gado bovino e o cultivo de cana-de-açúcar de forma extensiva (Fontes, 1997). Nessa condição histórica produtiva, vastas áreas da bacia foram desmatadas para dar lugar à agropecuária, mesmo possuindo uma baixa disponibilidade hídrica (Nascimento et al., 2015). A exploração de petróleo/gás *onshore* e potássio propicia o aumento do escoamento superficial e a consequente intensificação do volume da carga de sedimentos nos rios, ocasionando o seu assoreamento. Atualmente, há quatro indústrias sucroalcooleiras instaladas na bacia e o impacto se dá pela poluição por diversos processos, dentre eles, o uso indiscriminado de agrotóxicos agrícolas (Barbosa et al., 2019). Os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos são o principal destino final desses empreendimentos extrativistas e agropecuários.

3. MATERIAL E MÉTODO

A Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (BHRJ), localizada no nordeste do Estado de Sergipe, é delimitada pelos paralelos 10°13'00" e 10°47'00" de latitude Sul e meridianos 36°48'00" e 37°19'00" de longitude Oeste. O acesso principal, a pouco mais de 23 km do centro da capital Aracaju, se faz pela Rodovia Federal BR-101 (Figura 1). O seu rio homônimo tem uma extensão de 135 km, drenando uma área de aproximadamente 1700 km², juntamente com seus 2 principais afluentes, os rios Siriri, pela margem direita, e o Japarutuba Mirim, pela margem esquerda.

Figura 1: Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Para a realização do presente trabalho, foram utilizados dados vetoriais e matriciais disponíveis gratuitamente da Superintendência Especial de Recursos Hídricos (SEMARH, 2021); dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto Topodata disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011); e dados matriciais da Oitava Coleção do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo no Brasil (Mapbiomas, 2022); Programas de geoprocessamento SPRING – versão 5.5.6 (Câmara et al., 1996) e QGIS (Versão 3.16) (QGIS Development Core Team, 2020).

O mapa de cobertura do solo foi uma compilação e adaptação do produto disponibilizado pelo MapBiomas. Assim, importou-se o mapa em formato GeoTiff da cobertura e uso da terra do ano de 2021 juntamente com as camadas vetoriais da bacia hidrográfica do Rio Japarutuba para executar o recorte para a área delimitada, para a obtenção do mapa de cobertura do solo. A classificação da paleta de cores foi a partir do arquivo disponível na seção Coleção MapBiomas, no qual se encontram os códigos de cada cor, definida para cada classe. No entanto para a escolha das cores, teve como base, referências bibliográficas, para facilitar a visualização e compreensão do mapa. Em relação a definição das classes, seguiu-se como referência a legenda da Coleção 8. As classes classificadas estão de acordo com a interpretação da imagem de estudo para o ano de 2021

sendo: floresta, formação natural não florestal, pastagem, agricultura, solo exposto e corpos d'água. Para a quantificação da área da cobertura e uso da terra, ou seja, o cálculo da área total de cada classe, pelo complemento Grass Gis, para obtenção dos valores em Km², para analisar de forma quantificáveis as modificações da cobertura.

O MDE é uma representação digital de uma superfície de terreno contínua e consiste em uma matriz bidimensional de valores de elevação em posições de terreno regularmente espaçadas. Amplamente utilizado para a extração de feições morfométricas, como as classes hipsométricas e de declividade, fundamentais para a análise de bacia hidrográfica. Para a realização do mapa declividade foram estabelecidas classes de inclinação de acordo com o modelo estabelecido pela Embrapa (2018) para todo o Brasil. Para o mapa hipsométrico, as classes altimétricas foram estabelecidas entre 0 e 300m com o intervalo de 50m de altitude.

Na elaboração do mapa de calor (interpolador Kernel), foram utilizados os dados do MDE preenchido, no qual foi possível gerar pelo complemento SAGA, subprodutos, sendo eles: redes de drenagem e vértices. O MDE preenchido é o MDE bruto sem depressões espúrias (imperfeitas), ou seja, as depressões foram preenchidas pelo algoritmo desenvolvido por Wang e Liu (2006). A depressão é um mínimo local que não possui um caminho de fluxo descendente para quaisquer células adjacentes em um MDE. Este algoritmo, também preserva uma inclinação descendente ao longo do caminho do fluxo, fundamental para análise hidrológica.

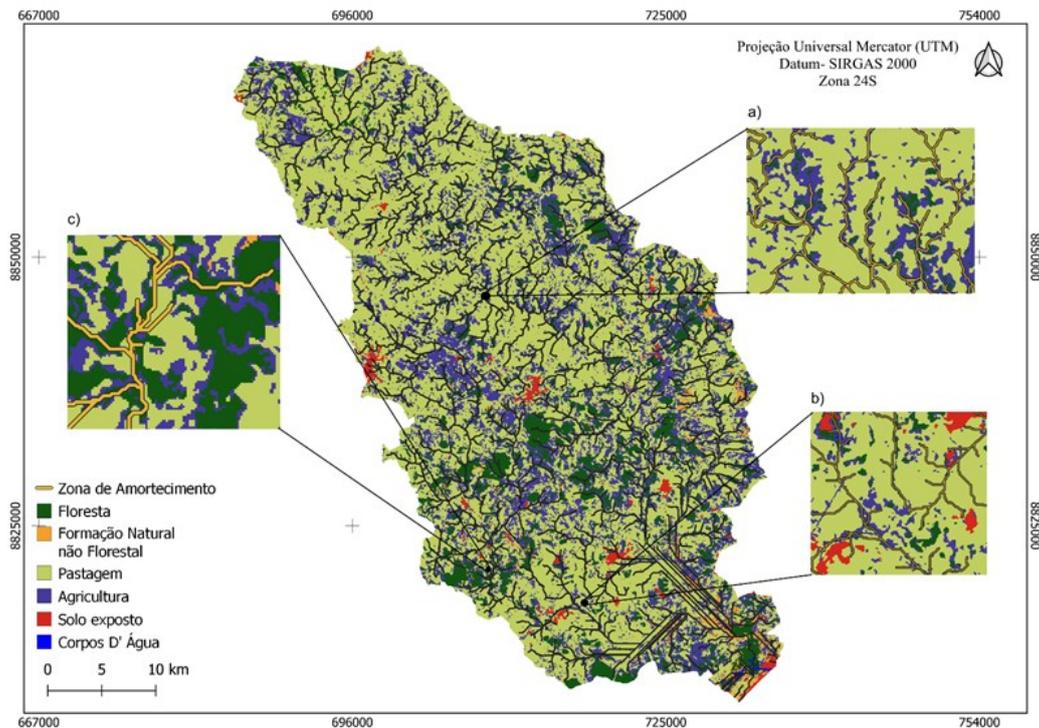
Após gerar os vértices foi aplicado a ferramenta mapa de calor (Interpolador Kernel) para obter a estimativa de densidade de drenagem, pois a densidade é calculada tendo como base a quantidade de vértices, de acordo com a dimensão das linhas de drenagem. O mapa, em tons monocromáticos, representa as densidades de drenagens, onde tons mais claros representam a maior densidade e tons mais escuros, baixa densidade de drenagem. Para obter uma melhor visibilidade do mapa, escolheu-se uma paleta de cores gradientes, no qual foram definidas, cores mais quentes representado por tons avermelhados e mais frias representado por tons azuis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de cobertura do solo foi classificado em seis categorias distintas: floresta, formação natural não florestal, pastagem, agricultura, solo exposto e corpos d'água (Figura 2). A análise da cobertura do solo na bacia destaca uma predominância significativa de

pastagem e agricultura, representando a maior parte do percentual, ou seja, 87,17% (Tabela 1).

Figura 2: Mapa de cobertura do solo.



Fonte: Autoria própria.

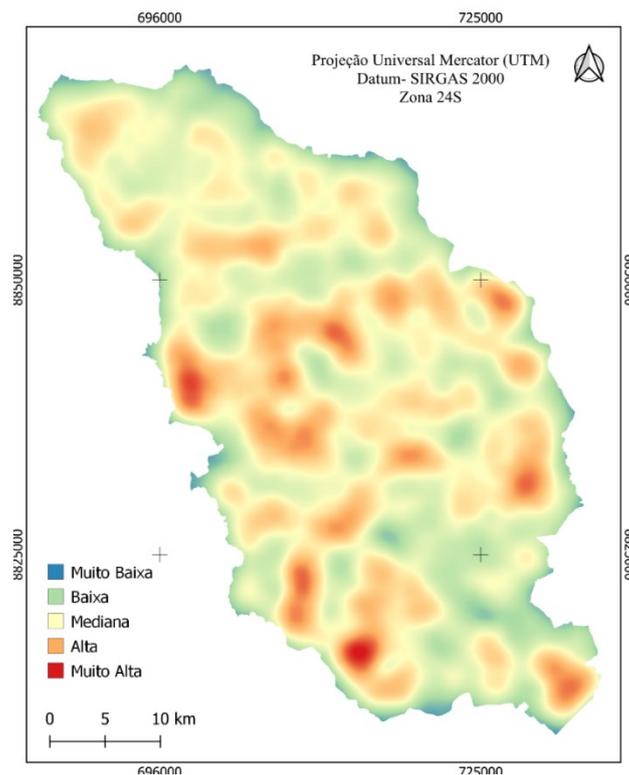
Tabela 1: Classes de Cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba 2021.

| Classes | 2021(km ²) | 2021(%) |
|--------------------------------|------------------------|------------|
| Floresta | 172,91 | 10,33 |
| Formação natural não florestal | 19,96 | 1,19 |
| Pastagem | 1055,74 | 63,06 |
| Agricultura | 403,73 | 24,11 |
| Solo exposto | 19,38 | 1,16 |
| Corpos d'água | 2,53 | 0,15 |
| Total | 1674,25 | 100 |

Fonte: Autores, 2024.

Ao relacionar esses dados com o mapa de densidade de Kernel (Figura 3), é possível identificar a ausência de vegetação como observado na figura 2 (a e b), onde as redes de drenagem com maior densidade se concentram em áreas de pastagem e agricultura. Dessa forma, a correlação entre a presença dessas atividades agrícolas, densidade de drenagem e a presença de solo impermeável (maior densidade de drenagem) demonstra a relevância de se considerar o manejo adequado do solo e a preservação de áreas verdes.

Figura 3: Mapa de densidade de Kernel.



Fonte: Autores, 2024.

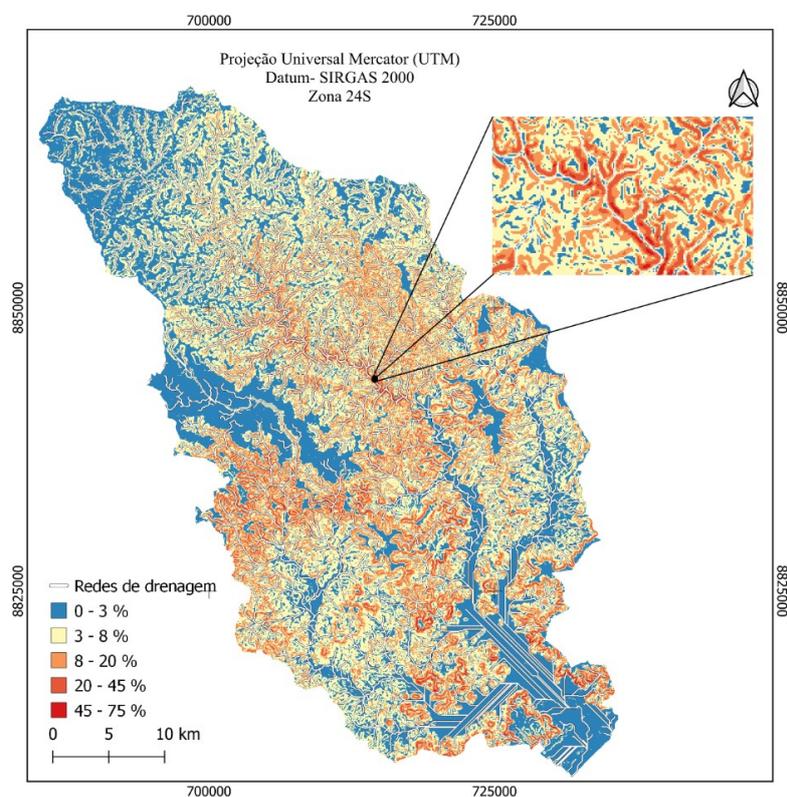
Conforme Oliveira et al. (2020), o uso e manejo do solo, em relação às variáveis hidrológicas, como florestas, é extremamente importante para as bacias hidrográficas pela distribuição de energia e água na superfície. Como exibido na figura 2, apenas 10,33% da área total da bacia é de florestas, e percebe-se que na figura 2 (c), as redes de drenagem estão situadas nestas áreas florestais. De acordo com a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, que trata sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APPs), essas áreas são fundamentais para a proteção do solo, já que com a presença da mata ciliar nas APPs auxilia no amortecimento de impacto das gotas de água no solo, influenciando nos processos de infiltração, interceptação e escoamento superficial. Isso contribui para a redução e prevenção da ocorrência de erosão e assoreamento, mantendo a preservação do solo e dos corpos fluviais.

A partir da estimativa da densidade de drenagem pelo interpolador de Kernel (mapa de calor), foi possível classificar a densidade em cinco classes: muito baixa, baixa, mediana, alta e muito alta (Figura 3). Cada classe contém suas especificidades, e ao relacionar com o mapa de cobertura do solo (Figura 2), foram observados padrões mostrando uma alta densidade de drenagem no centro da bacia, bem como se distribui nas proximidades da parte litorânea dela. Com isto, é possível analisar que na região central classificada como alta

densidade de drenagem, apresenta uma área mais impermeável que possibilita o favorecimento de erosão e do assoreamento. Esse fenômeno é provocado e/ou intensificado pela retirada da camada superficial do solo, onde os sedimentos serão depositados nos corpos hídricos, afetando a perda de nutrientes do solo, como o arraste de defensivos agrícolas, o que prejudica a vida aquática e a qualidade e quantidade de água.

Verifica-se no mapa de declividade (Figura 4), no qual foi considerado cinco classes, enumeradas por intervalos percentuais: 0 a 3; 3 a 8; 8 a 20; 20 a 45 e 45 a 75, com suas respectivas áreas (Tabela 2). As classes de declividade 3 a 8% e 8 a 20% (declives moderados a alto) representam 34,6% e 35,7%, respectivamente. Estas classes influenciam de sobremaneira na ocorrência de processos erosivos quando comparadas com as demais classes de declividade, pois além de representarem 70% da área da bacia, estão localizadas nas regiões de alta densidade de drenagem. Cerca de 18%, servem como receptor de sedimentos, acelerando o processo de assoreamento. Para a classe de 20 a 45%, tendo como área de 11% do total, analisa-se um terreno com um declive acentuado, onde percebe-se que nestes locais, há indício de alta suscetibilidade de ocorrer o processo erosivo. Pois haverá uma maior velocidade do escoamento das massas de água de acordo com a inclinação do terreno.

Figura 4: Mapa de declividade.



Fonte: Autores, 2024.

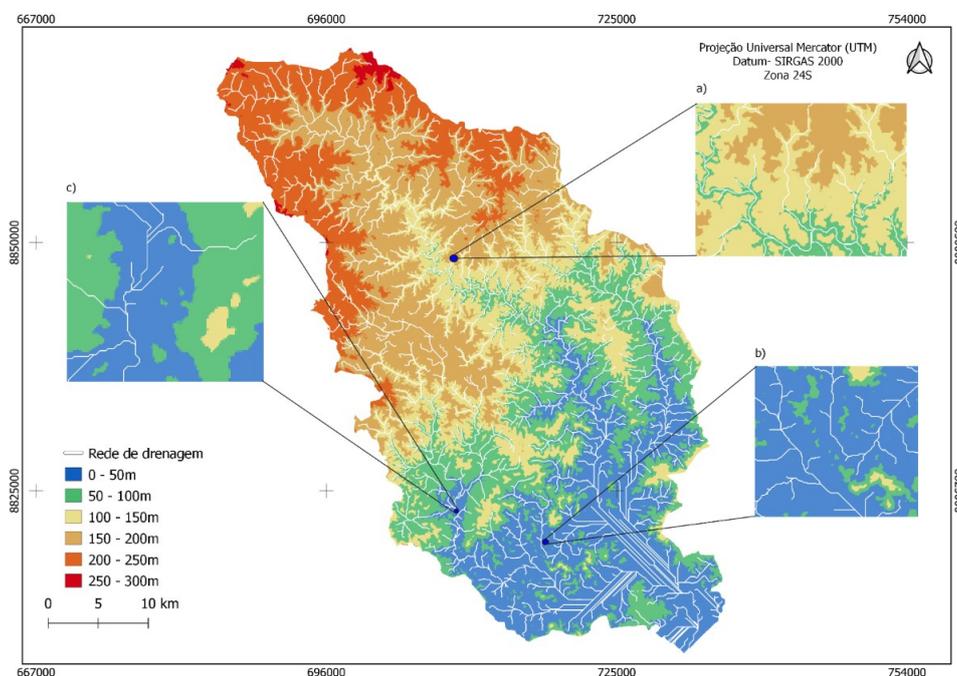
Tabela 2: Classificação de declividade.

| Declividade (%) | Área (km ²) | Área (%) |
|-----------------|-------------------------|------------|
| 0 - 3 | 312.0 | 18,6 |
| 3 - 8 | 579.3 | 34,6 |
| 8 - 20 | 597.5 | 35,7 |
| 20 - 45 | 183.2 | 11 |
| 45 - 75 | 1.9 | 0,1 |
| Total | 1674 | 100 |

Fonte: Autores, 2014.

A partir do mapa de hipsometria (Figura 5) foram obtidas informações sobre a altitude do terreno, essa informação desempenha um papel crucial no entendimento para a perda de solo. Pois quanto maior for a altitude, maior será a velocidade da carga d'água no escoamento superficial, isso está diretamente relacionado ao volume de sedimento que será arrastado até a sua deposição, ocasionando assoreamento dos corpos hídricos. Na área central da bacia hidrográfica, onde a densidade drenagem é maior, a altitude do terreno fica entre 100 e 200m. Essa observação revela a interação da topografia com os processos hidrológicos, confirmando que na área central da bacia há uma maior suscetibilidade de haver processos de erosão.

Figura 5: Mapa de hipsometria.



Fonte: Autores, 2024.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a discussão, foi realizada a análise preliminar da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba a partir da cobertura do solo, densidade de drenagem, classes de declividade e

hipsometria. As classes de cobertura do solo predominantes são a pastagem e a agricultura (87,17%). A classe floresta representa 10,33% com regiões desprovidas de matas ciliares. As regiões centrais e sudoeste concentram a alta densidade de drenagem, indicando a maior impermeabilidade do solo. Nestas áreas, a pastagem é dominante, contribuindo com o aumento da erosão em decorrência do maior escoamento superficial e diminuição da infiltração da água pluvial. As pastagens e a agricultura foram as atividades principais para a supressão e a fragmentação da vegetação natural, com destaques para os biomas Mata Atlântica e Caatinga.

O desmatamento das matas ciliares ocasiona a perda da proteção física das margens dos rios, a reciclagem de elementos pela interrupção da interação entre os ambientes terrestre aquático, desaparecimento do corredor genético para a flora e fauna e o desencadeando e intensificação dos processos erosivos e de assoreamento. É fato que a Legislação Brasileira neste aspecto é rígida, porém o seu cumprimento nem sempre é praticado.

É imperativo estabelecer políticas de planejamento do uso da terra de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos naturais. Dessa forma, estabelecer planos de gestão de modo a assegurar a produtividade da agropecuária e agroindustrial, conservando as funções dos diferentes ecossistemas de acordo com as suas capacidades de sustentação dos atividades econômicas.

A análise da declividade indicou que as regiões citadas apresentam classes de inclinação moderadas e acentuadas, que abrangem aproximadamente de 70% da área da bacia, essa declividade desempenha um papel crucial na ocorrência de processos erosivos. Além disso, o mapa hipsométrico indicou uma altitude média entre 100 e 200m nessas regiões, contribuindo também com os processos erosivo e de assoreamento, pois as maiores altitudes apresentam maiores energias potencial e cinética, acelerando a velocidade do escoamento superficial em altos declives, formando enxurradas. Por outro lado, em regiões de baixas altitudes e relevos planares, os detritos carregados sedimentam-se, nas planícies fluviais e fluviomarinhas, ocasionando o processo de assoreamento dos corpos d'água.

Em síntese, a análise preliminar destaca as áreas mais vulneráveis a erosão da bacia, enfatizando a relação entre a cobertura do solo, a densidade de drenagem, a declividade e a hipsometria. Essas informações são fundamentais para compreender os desafios ambientais,

para que seja possível implementar estratégias de manejo e preservação que reduzam os impactos dos processos erosivos e de assoreamento.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. M. F.; OLIVEIRA, A. R., SILVA, L. C. S.; MELO E SOUZA, R.; SANTOS, S. S. C. Bacias hidrográficas e os conflitos pelos usos das águas no estado de Sergipe. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 40, p. 1-20, 2019.

BEZERRA NETO, J. A.; NASCIMENTO, P S. de R; BARROS, G. V. P. de; Análise hierárquica aplicada à erosão do solo na bacia hidrográfica. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v.10, n.2, p.82-106,2022.

BORGES, V. S; OLIVEIRA, W. N de. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. REEC: **Revista eletrônica de Engenharia Civil**, v. 17, n. 1, p. 79- 93,2021. Disponível em:<<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/68192>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BRASIL. Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. SPRING: integrating Remote Sensing and GIS with object-oriented data modelling. **Computer and Graphics**. v.15, n.6, p.13 - 22, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed., rev. e ampl, Brasília, DF, 2018, p. 294-295.

ESTADO DE SERGIPE. **Lei Estadual nº 3.870, de 25 de setembro de 1997**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Fundo Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

FLAUZINO, B. K.; MELLONI, E. G. P.; PONS, N. A. D.; LIMA, O. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em Sub-bacia Hidrográfica Piloto no Sul de Minas Gerais. **Geociências**, v. 35, n. 2, p.277-287, 2016.

FONTES, A. L. **Caracterização geoambiental da bacia do rio Japarutuba - SE. 1997**. 298 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Projeto Topodata. São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>. Acesso em: 31 jan. 2024.

- WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v.0, n0, p. 1 – 21, 2005.
- MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Lançamos a Coleção 6 (1985-2022)**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/lancamentos/>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- MENDONÇA, A. F.; TEIXEIRA, T. M. A.; OLIVEIRA, O. A.; TEIXEIRA, A. C. O. Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha em Formosa-GO. **Geoambiente On-line**, n. 36, p. 19 – 42, 2020.
- NASCIMENTO, P. S. de R.; SILVA, N. P. C. Aplicação de sensoriamento remoto e análise espacial em alinhamentos geológicos como indicador da potencialidade de acumulação de águas subterrâneas., **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v.7, n.4, p. 204-222, 2019. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/viewFile/9879/7147>> Acesso em: 12 fev. 2024.
- NASCIMENTO, M. K. S.; MOTA, P. V. M.; CRUZ, M. A. S.; ARAGÃO, R. Análise da alteração do uso e cobertura da terra em dois períodos na Bacia do Rio Japarutuba, SE. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE, 8., 2015, Aracaju. **Anais...** Aracaju, UFS, 2015, p.16 – 20.
- OLIVEIRA, A. H; SILVA, M. L. N; NETO, G. K. Escoamento superficial e perdas de solo na sub bacia florestal, município de Eldorado do Sul, RS / Escoamento superficial e perdas de solo na sub-bacia florestal, município de Eldorado do Sul, RS. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v.6, n.8, p.58111– 58132, 2020. Disponível em:< <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-283>>. Acesso em 14 fev.2024.
- QGIS Development Core Team. **QGIS Geographic Information System**. A Free and Open Source Geographic Information System 2020. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- SANTOS, N. A. L.; NASCIMENTO, P. S. de R. Espacialização da suscetibilidade erosiva a partir da densidade de drenagem pelo interpolador Kernel. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: INPE, 2019. p. 27-30.
- SEMARH. Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Atlas de Recursos do Estado de Sergipe**. Aracaju: SRH,2021.
- SOUSA, F. R. C.; PAULA, Davis. P. de. Análise de perda do solo por erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-brasil). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 20(3),2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>>. Acesso em: 12 fev.2024.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. 952p.

ZIANI, P.; FOLETO, E. M.; WOLLMANN, C. A. Análise e caracterização geográfica da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí/RS. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 58-74, 2017.

CAPÍTULO XXIV

O USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NA ANÁLISE DA SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL E SEUS IMPACTOS NA EDUCAÇÃO DOS ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL EM ÁREAS URBANAS

THE USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) IN THE ANALYSIS OF SOCIOESPATIAL SEGREGATION AND ITS IMPACTS ON EDUCATION IN THE FINAL YEARS OF ELEMENTARY SCHOOL IN URBAN AREAS

DOI: 10.51859/amplla.cti4345-24

Ednilson Celso Fernandes ¹
Kevin Cristian Paulino Freires ²

¹ Especialista em Direito Tributário. Universidade de Marília (UNIMAR).

² Doutorando em Ciências da Educação. Facultad Interamericana de Ciencias Sociales. Pesquisador no GEPEMAC/IFCE/CNPq. Professor-Formador na SME - Caucaia.

RESUMO

A segregação socioespacial em áreas urbanas afeta significativamente a distribuição de recursos educacionais e o desempenho acadêmico dos alunos. Este estudo investiga como essas desigualdades geográficas influenciam a qualidade do ensino e perpetuam as disparidades socioeconômicas. Investigar os impactos da segregação socioespacial no desempenho acadêmico dos alunos nos anos finais do ensino fundamental. Para a condução desta pesquisa teórica, adotou-se uma abordagem metodológica envolvendo uma pesquisa bibliográfica de cunho qualitativo, buscando compreender e analisar criticamente as informações disponíveis na literatura especializada sobre o tema proposto, considerando estudos publicados nos últimos 5 (cinco) anos. Os dados mostraram que escolas em áreas de baixa renda enfrentam infraestrutura inadequada, falta de recursos didáticos e tecnológicos, dificuldades em atrair professores qualificados e menor apoio institucional. Esses fatores resultam em um desempenho acadêmico inferior, confirmando achados anteriores e expandindo as evidências de que a segregação socioespacial perpetua ciclos de desvantagem. Além disso, alunos dessas escolas relataram maiores níveis de estresse e ansiedade, afetando negativamente sua motivação e desempenho

acadêmico. Este estudo confirma e amplia o conhecimento sobre os impactos negativos da segregação socioespacial na educação, utilizando SIG para uma análise mais precisa das disparidades geográficas. A pesquisa preenche lacunas na literatura, oferecendo uma base sólida para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes para mitigar esses impactos e promover uma educação mais equitativa e inclusiva.

Palavras-chave: Desempenho Acadêmico. Educação Urbana. Segregação Socioespacial. Sistemas de Informação Geográfica. Tecnologia Educacional.

ABSTRACT

Socio-spatial segregation in urban areas significantly affects the distribution of educational resources and students' academic performance. This study investigates how these geographic inequalities influence the quality of education and perpetuate socioeconomic disparities. Investigate the impacts of socio-spatial segregation on students' academic performance in the final years of elementary school. To conduct this theoretical research, a methodological approach was adopted involving a qualitative bibliographical research, seeking to understand and critically analyze the information available in specialized literature on the



proposed topic, considering studies published in the last 5 (five) years. The data showed that schools in low-income areas face inadequate infrastructure, lack of teaching and technological resources, difficulties in attracting qualified teachers and less institutional support. These factors result in lower academic performance, confirming previous findings and expanding the evidence that socio-spatial segregation perpetuates cycles of disadvantage. Additionally, students at these schools reported higher levels of stress and anxiety, negatively affecting their motivation and academic

performance. This study confirms and expands knowledge about the negative impacts of socio-spatial segregation in education, using GIS for a more precise analysis of geographic disparities. The research fills gaps in the literature, offering a solid foundation for developing more effective public policies to mitigate these impacts and promote more equitable and inclusive education.

Keywords: Academic achievement. Urban Education. Socio-spatial segregation. Geographic Information Systems. Educational technology.

1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representam uma ferramenta poderosa e versátil que integra *hardware*, *software* e dados geoespaciais para capturar, gerenciar, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciadas (Xavier, 2022). Dessa forma, na prática, os SIGs permitem a visualização de padrões espaciais e tendências, tornando-os indispensáveis para estudos e aplicações em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão ambiental, saúde pública, e, especificamente, a análise da segregação socioespacial.

Dessa maneira, a segregação socioespacial refere-se à separação física de diferentes grupos sociais dentro de um espaço urbano, muitas vezes refletindo e exacerbando desigualdades socioeconômicas (Silva; Nascimento & Fabrício, 2022). Consoante a isso, essa segregação pode ser observada na distribuição desigual de recursos e serviços, como saúde, segurança, transporte e educação. Além disso, conforme Silva, Nascimento & Fabrício (2022), a análise da segregação socioespacial por meio dos SIGs envolve a coleta e o processamento de dados geográficos, como mapas de densidade populacional, renda média, acesso a serviços públicos, entre outros, para identificar e compreender os padrões de desigualdade dentro de uma cidade ou região.

Para exemplificar, pesquisas e estudos sobre os impactos dessa segregação na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas têm demonstrado que a localização das escolas e a qualidade do ensino variam significativamente entre diferentes bairros de uma cidade, bem como escolas na zona rural e na zona urbana, no qual reflete as disparidades socioeconômicas das populações que vivem nesses locais (Bogniotti, 2018). Desse modo, utilizando os SIGs, é possível mapear as escolas, analisar a distribuição dos

recursos educacionais e correlacionar esses dados com indicadores socioeconômicos dos alunos, como renda familiar, taxa de criminalidade na região, e acesso ao transporte público.

Com isso, a questão central desta pesquisa indaga: como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser utilizados para identificar e analisar padrões de segregação socioespacial em áreas urbanas e quais são os impactos desses padrões na educação dos anos finais do ensino fundamental?.

Nessa perspectiva, a segregação socioespacial em áreas urbanas é um fenômeno complexo que afeta profundamente a distribuição de recursos e oportunidades, impactando diretamente diversos aspectos da vida cotidiana, incluindo a educação. Desta forma, a análise desse fenômeno por meio de SIG permite uma visualização detalhada e uma compreensão mais precisa dos padrões de segregação e suas implicações. Seguindo esta ótica, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre como a segregação socioespacial influencia a educação dos anos finais do ensino fundamental, uma etapa crucial no desenvolvimento acadêmico e social dos alunos.

Ademais, a utilização de SIG, combinada com tecnologias emergentes como inteligência artificial e *big data*, oferece uma abordagem inovadora e robusta para mapear e analisar a segregação socioespacial. Nesse viés, esses sistemas possibilitam a integração e análise de grandes volumes de dados georreferenciados, revelando correlações e padrões que seriam difíceis de identificar por métodos tradicionais. Nesse sentido, ao focar nos impactos educacionais, esta pesquisa tem o potencial de fornecer esclarecimentos valiosos para a formulação de políticas públicas e estratégias educacionais mais equitativas. Com isso, esta pesquisa não apenas amplia o conhecimento acadêmico, mas também oferece soluções práticas para problemas reais, beneficiando educadores, gestores e formuladores de políticas públicas.

Considerado o exposto, o objetivo geral da pesquisa é analisar como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser utilizados para identificar e mapear padrões de segregação socioespacial em áreas urbanas e avaliar os impactos dessa segregação na educação dos anos finais do ensino fundamenta.

Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: i) Identificar e mapear os principais padrões de segregação socioespacial em áreas urbanas utilizando ferramentas de SIG; ii) Investigar os impactos da segregação socioespacial na distribuição de recursos educacionais e no desempenho acadêmico dos alunos nos anos finais do ensino

fundamental e; iii) Propor estratégias e políticas educacionais baseadas nas análises de SIG para mitigar os efeitos da segregação socioespacial e promover a equidade educacional.

Dentro desse viés, a metodologia proposta para esta pesquisa teórica abrange uma revisão bibliográfica, focando em estudos relevantes sobre práticas pedagógicas, engajamento dos alunos, eficácia do ensino, desafios enfrentados pelos educadores e estratégias para promover o uso de SIG na análise da segregação socioespacial e seus impactos na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas. Dessa maneira, a análise e síntese da literatura revisada resultarão em um *framework* teórico que servirá como base conceitual para a discussão da temática proposta.

Nesse sentido, o percurso teórico deste trabalho é fundamentado na análise crítica da literatura existente sobre segregação socioespacial e seus impactos na educação, com foco nas ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumentos analíticos e de intervenção. Dessa maneira, a revisão da literatura abordará estudos clássicos e contemporâneos que exploram a relação entre segregação e distribuição desigual de recursos educacionais, destacando como essas disparidades influenciam o desempenho acadêmico dos alunos. Outrossim, o trabalho discutirá as capacidades dos SIGs em mapear e analisar dados geoespaciais para identificar padrões de desigualdade e fornecer esclarecimentos valiosos para a formulação de políticas públicas. Seguindo esta visão, a fundamentação teórica será complementada por uma análise das políticas educacionais vigentes e suas lacunas, propondo soluções baseadas em evidências para mitigar os efeitos da segregação socioespacial.

Sendo assim, a estrutura do trabalho está organizada em quatro seções principais. A introdução contextualiza a relevância do tema e apresenta os objetivos e perguntas de pesquisa. Seguida pela metodologia, no qual detalha as técnicas de coleta e análise de dados, incluindo o uso de SIGs para mapeamento e correlação de dados socioeconômicos e educacionais. Além disso, o referencial teórico explora os impactos da segregação socioespacial na educação, focando na distribuição de recursos e no desempenho acadêmico dos alunos nos anos finais do ensino fundamental, bem como discute a integração de tecnologias emergentes com SIGs para análise educacional e propõe estratégias e políticas para promover a equidade educacional. Nessa ótica, é trago os resultados e discussões e, por fim, as considerações finais, que sintetiza os achados e sugere direções para futuras pesquisas.

2. IMPACTOS DA SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL NO DESEMPENHO ACADÊMICO DOS ALUNOS

A segregação socioespacial nas áreas urbanas exerce uma influência significativa sobre a distribuição de recursos educacionais e, conseqüentemente, no desempenho acadêmico dos alunos. Dessa forma, este tópico investiga como as desigualdades geográficas afetam a qualidade do ensino e as oportunidades educacionais, criando um ciclo de desvantagens que perpetua as disparidades socioeconômicas.

Nessa perspectiva, estudos mostram que escolas localizadas em áreas de menor poder aquisitivo frequentemente enfrentam desafios adicionais, como infraestruturas inadequadas, falta de recursos pedagógicos e menor suporte comunitário, fatores que contribuem para um desempenho acadêmico inferior dos estudantes (Freires *et al.*, 2023). Sendo assim, a análise do impacto da segregação socioespacial é crucial para entender as raízes das desigualdades educacionais e para desenvolver intervenções que promovam uma educação equitativa e inclusiva.

2.1. IMPACTOS DA SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL NA DISTRIBUIÇÃO DE RECURSOS EDUCACIONAIS E NO DESEMPENHO ACADÊMICO DOS ALUNOS NOS ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL

Desigualdade na infraestrutura escolar refere-se à disparidade na qualidade e disponibilidade de instalações e recursos físicos entre escolas de diferentes regiões. Dessa forma, esta desigualdade tem raízes históricas e sociais, muitas vezes derivadas de políticas urbanas discriminatórias e segregacionistas que resultaram na concentração de pobreza em certas áreas, enquanto outras desfrutaram de maior investimento público (Noguera, 2018).

Desta forma, a segregação socioespacial acentua a disparidade na infraestrutura escolar, pois escolas localizadas em áreas de menor renda frequentemente enfrentam falta de recursos básicos, como bibliotecas, laboratórios e espaços esportivos, no qual isso limita significativamente as oportunidades educacionais dos alunos, perpetuando ciclos de desvantagem e contribuindo para um desempenho acadêmico inferior (Reardon, 2019).

Nessa perspectiva, um estudo realizado por Owens (2020) mostrou que escolas em bairros pobres frequentemente carecem de manutenção adequada e sofrem com a superlotação. Em contraste, escolas em bairros mais ricos e capitais têm acesso a melhores instalações e recursos, criando um ambiente mais propício ao aprendizado. Dessa forma,

esses fatores contribuem para uma lacuna significativa no desempenho acadêmico entre alunos de diferentes contextos socioeconômicos.

Desse modo, a distribuição de recursos didáticos e tecnológicos envolve a disponibilização de materiais educacionais, como livros, *softwares* educacionais e equipamentos tecnológicos, para apoiar o ensino e a aprendizagem. Nessa perspectiva, a origem dessa distribuição desigual pode ser rastreada até políticas de financiamento escolar que muitas vezes favorecem escolas em áreas mais abastadas (Darling-Hammond, 2018).

Além disso, a falta de recursos didáticos e tecnológicos nas escolas de áreas de baixa renda é uma consequência direta da segregação socioespacial. Dessa forma, essas escolas, muitas vezes dependentes de orçamentos limitados, não conseguem adquirir os materiais necessários para oferecer uma educação de qualidade, impactando negativamente o desenvolvimento acadêmico dos alunos (Kozol, 2019).

Como por exemplo, um relatório do *National Center for Education Statistics* (2021) revelou que alunos em escolas de baixa renda têm acesso limitado a computadores e *internet* de alta velocidade, ferramentas essenciais para o aprendizado no século XXI. Em contraste, escolas em zonas urbanas, em específico, em bairros ricos, não apenas possuem esses recursos, mas também têm programas dedicados à integração de tecnologia no currículo.

Seguindo esse viés, a qualificação e distribuição de professores refere-se à disponibilidade e alocação de educadores qualificados de maneira equitativa entre as escolas, no qual a origem da desigualdade nesse aspecto frequentemente está relacionada a políticas de contratação e retenção que desincentivam professores experientes a trabalhar em escolas de áreas desfavorecidas (Ingersoll, 2020).

Ainda assim, a segregação socioespacial afeta a distribuição de professores, com escolas em áreas de baixa renda frequentemente tendo dificuldades para atrair e manter professores qualificados. Dessa maneira, esses profissionais muitas vezes preferem trabalhar em ambientes que oferecem melhores condições de trabalho e salários mais competitivos, exacerbando a desigualdade educacional (Garcia, 2019).

Consoante a isso, um estudo de Simon e Johnson (2021) mostrou que escolas em comunidades desfavorecidas apresentam maiores taxas de rotatividade de professores, o que prejudica a continuidade do ensino e a qualidade da educação oferecida. Em contraste, escolas em áreas mais prósperas conseguem manter um corpo docente estável e bem treinado, promovendo um ambiente educacional mais consistente e eficaz.

Ademais, o apoio institucional e programas de suporte referem-se a serviços e iniciativas adicionais fornecidos pelas escolas para apoiar o bem-estar e o desenvolvimento acadêmico dos alunos, como aconselhamento, tutoria e programas extracurriculares. Dessa forma, a origem dessas disparidades muitas vezes está nas diferenças de financiamento e prioridade política entre diferentes regiões (Bryk *et al.*, 2018).

Dentro desse viés, a segregação socioespacial impacta a disponibilidade e qualidade desses programas, com escolas em áreas de baixa renda muitas vezes incapazes de oferecer serviços de apoio adequados, pois isso pode afetar negativamente o desempenho acadêmico e o bem-estar emocional dos alunos, que podem não ter acesso aos recursos necessários para superar desafios pessoais e acadêmicos (Alexander, 2019).

Para exemplificar, um estudo de Allensworth e Easton (2020) mostrou que alunos em escolas com melhor apoio institucional, como programas de mentoria e serviços de saúde mental, apresentaram melhores resultados acadêmicos e menor taxa de evasão escolar. Em contraste, a falta desses serviços em escolas de áreas desfavorecidas contribui para uma maior incidência de problemas comportamentais e acadêmicos.

Desse modo, o impacto psicológico e social da segregação refere-se aos efeitos emocionais e sociais negativos que a segregação socioespacial pode ter sobre os alunos, incluindo sentimentos de exclusão, baixa autoestima e dificuldades de socialização. Dessa forma, a origem desses impactos está frequentemente ligada à estigmatização e ao isolamento social que acompanham a segregação (Massey & Denton, 2018).

Outrossim, a segregação socioespacial pode criar um ambiente em que alunos de áreas desfavorecidas se sentem marginalizados e menos valorizados, o que pode afetar sua motivação e desempenho acadêmico. Consoante a isso, a falta de interações com alunos de diferentes origens socioeconômicas também limita suas oportunidades de desenvolver habilidades sociais e de resiliência (Carter & Welner, 2019).

Nesse viés, um estudo de Frankenberg e Orfield (2021) mostrou que alunos em escolas altamente segregadas relataram níveis mais altos de estresse e ansiedade em comparação com seus pares em escolas mais diversificadas. Além disso, a segregação contribui para a perpetuação de preconceitos e estereótipos, reforçando barreiras sociais e econômicas que dificultam a mobilidade social.

Seguindo esse viés, dados estatísticos e estudos de caso são métodos de pesquisa utilizados para analisar e ilustrar as tendências e impactos da segregação socioespacial na

educação. Desse modo, a origem dessa abordagem está na necessidade de fornecer evidências empíricas que possam informar políticas educacionais e práticas pedagógicas (Creswell & Creswell, 2018).

A partir dessa ótica, o uso de dados estatísticos e estudos de caso permite uma compreensão aprofundada dos efeitos da segregação socioespacial, destacando padrões de desigualdade e identificando áreas que necessitam de intervenção. Dessa maneira, essas análises são cruciais para desenvolver estratégias eficazes para mitigar os impactos negativos da segregação (Yin, 2020).

Tendo como exemplo, um estudo de caso realizado por Rumberger (2019) examinou a segregação em um distrito escolar urbano, revelando que as escolas em áreas de baixa renda tinham taxas de aprovação significativamente mais baixas e recursos educacionais mais limitados. Desse modo, dados estatísticos de um relatório do *United States (U.S) Department of Education (2020)* corroboram essas descobertas, mostrando uma correlação clara entre segregação socioespacial e desempenho acadêmico inferior.

E, também, as políticas públicas e intervenções necessárias referem-se às ações e medidas implementadas pelo governo e outras entidades para combater a segregação socioespacial e promover a equidade educacional. Consoante a isso, a origem dessas políticas pode ser rastreada até movimentos por justiça social e igualdade de oportunidades, que ganharam força durante o século XX (Orfield & Lee, 2018).

Ainda assim, a implementação de políticas públicas eficazes é crucial para reduzir a desigualdade educacional causada pela segregação socioespacial. Dessas maneiras, essas políticas podem incluir reformas no financiamento escolar, programas de integração, e iniciativas para melhorar a qualidade do ensino em áreas desfavorecidas. A abordagem deve ser abrangente, atacando as raízes estruturais da desigualdade (Ladson-Billings, 2019).

Exemplificativamente, o programa "*My Brother's Keeper*" iniciado pelo governo dos Estados Unidos das Américas (EUA) visa proporcionar apoio acadêmico e social a jovens de minorias em áreas urbanas, com resultados positivos documentados em várias regiões (U.S. Department of Education, 2020). No Brasil, o Programa de Bolsa Família tem mostrado impactos significativos na frequência escolar e desempenho acadêmico de crianças em situação de pobreza (Soares, 2021). Essas intervenções destacam a importância de políticas públicas bem desenhadas para mitigar os efeitos da segregação socioespacial na educação.

3. METODOLOGIA

Para a condução desta pesquisa teórica, adotou-se uma abordagem metodológica envolvendo uma pesquisa bibliográfica de cunho qualitativo, buscando compreender e analisar criticamente as informações disponíveis na literatura especializada sobre o tema proposto, considerando estudos publicados nos últimos 5 (cinco) anos.

Segundo Freires, Costa & Araújo Júnior (2023), a pesquisa bibliográfica é uma abordagem de investigação que se baseia na análise e interpretação de obras já publicadas sobre um tema específico. Dessa forma, essa metodologia envolve a busca, seleção e análise crítica de livros, artigos, teses, relatórios e outras fontes de informação disponíveis na literatura acadêmica e científica. Nessa perspectiva, a escolha da pesquisa bibliográfica para este estudo é justificada pela abundância de materiais disponíveis sobre o tema, o que possibilita uma análise das diversas abordagens, conceitos e resultados relacionados ao uso de SIG na análise da segregação socioespacial e seus impactos na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas.

Adicionalmente, de acordo com Pizzani, Silva, Bello & Hayashi (2012) e Sousa, Oliveira e Alves (2021), essa metodologia capacita o pesquisador a contextualizar o tema em estudo, identificar debates, tendências e lacunas no conhecimento já existente, e também fundamentar teoricamente sua pesquisa.

Outrossim, conforme Freires, Costa e Araújo Júnior (2023), a pesquisa qualitativa é uma abordagem de investigação que busca compreender fenômenos sociais complexos através da interpretação e análise minuciosa de dados não numéricos, como observações e análise de documentos etc. Desta forma, a pesquisa qualitativa focaliza na compreensão dos significados, experiências e perspectivas dos participantes, em vez de se restringir a medidas quantitativas. Neste contexto, este tipo de pesquisa é frequentemente empregado para investigar questões intrincadas, entender processos sociais e culturais, e fornecer esclarecimentos para desenvolver teorias e práticas (Lopes, 2020). Além disso, conforme Freires, Costa e Júnior (2023), a abordagem qualitativa possibilita uma compreensão mais aprofundada e interpretativa dos dados teóricos coletados.

Desse modo, a delimitação temporal desta pesquisa abrange os estudos publicados nos últimos 5 (cinco) anos. Consoante a isso, essa escolha foi feita com base em diversos fatores. Primeiramente, limitar a análise a um período recente permite concentrar-se em

estudos e pesquisas que refletem o uso de SIG na análise da segregação socioespacial e seus impactos na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas, garantindo assim que os resultados sejam relevantes e aplicáveis ao contexto educacional contemporâneo.

Ademais, o campo das tecnologias emergentes está em constante evolução, com novas ferramentas, aplicativos e abordagens sendo desenvolvidos regularmente. Dentro desse viés, limitar a pesquisa aos últimos 5 anos ajuda a capturar essa evolução recente e a fornecer uma visão mais precisa do estado atual da temática proposta. Por fim, a maioria dos estudos e pesquisas sobre o uso de SIG na análise da segregação socioespacial e seus impactos na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas, ou seja, acerca das tecnologias educacionais de modo geral nos últimos 5 anos está disponível em bases de dados acadêmicas e bibliotecas digitais, facilitando o acesso ao material e contribuindo para uma revisão de literatura abrangente. Portanto, a delimitação temporal para os últimos 5 anos foi estabelecida para garantir que a pesquisa seja focada, atualizada e capaz de fornecer esclarecimentos valiosos sobre o tema.

Seguindo esta ótica, a pesquisa foi conduzida em quatro etapas, sendo elas: identificação do problema e definição de objetivos da investigação, que incluem identificar e mapear os principais padrões de segregação socioespacial em áreas urbanas utilizando ferramentas de SIG, investigar os impactos da segregação socioespacial na distribuição de recursos educacionais e no desempenho acadêmico dos alunos nos anos finais do ensino fundamental e propor estratégias e políticas educacionais baseadas nas análises de SIG para mitigar os efeitos da segregação socioespacial e promover a equidade educacional; ii) revisão de literatura, utilizando plataforma de dados acadêmicos, como *Google Scholar* e *Oasis*.

Nesse sentido, os critérios de seleção incluíram relevância para o tema de estudo, atualidade e qualidade do conteúdo, estudos revisados por pares, publicados nos últimos 5 anos. Dessa maneira, os estudos que não atendiam a esses critérios foram excluídos.

Ainda, tem-se as etapas finais, que são: iii) análise e síntese da literatura: os artigos selecionados foram analisados e sintetizados, destacando os principais conceitos, teorias e descobertas relevantes para o estudo. Dessa maneira, essa análise permitiu a construção de um *framework* teórico que integra os achados da literatura revisada, servindo como base conceitual para a discussão do tema em questão e; iv) considerações éticas: ao longo de todo o processo, foram consideradas as implicações éticas inerentes à pesquisa teórica, incluindo

questões de autoria, credibilidade da fonte e uso ético da literatura revisada. Nessa perspectiva, essa reflexão ética é fundamental para garantir a integridade e o rigor acadêmico do estudo, assim como para apresentar os resultados de forma transparente e responsável.

A partir dessas etapas, esta metodologia permite que outros pesquisadores compreendam e repliquem o processo adotado neste estudo, garantindo a transparência e a reprodutibilidade da pesquisa. E também, dentro desse viés, para a condução da busca bibliográfica, foram selecionadas palavras-chave específicas que guardam estreita relação com o escopo de nosso estudo. Desta forma, as expressões-chave adotadas para esta investigação englobam termos como ‘tecnologias emergentes’, ‘segregação socioespacial’, ‘sistemas de informação geográfica’, ‘desempenho acadêmico’, ‘equidade educacional’, ‘análise geoespacial’ e ‘anos finais’.

Nesse sentido, tais descritores foram escolhidos visando assegurar a pertinência dos materiais recolhidos à pesquisa. Adicionalmente, foi aplicado um filtro temporal no período compreendido entre 2018 e 2023, com o intuito de identificar trabalhos mais recentes. Com isso, o desdobramento desta abordagem permitiu a leitura e o acesso a um total de 30 artigos, dentre os quais 25 se destacaram como apresentando maior afinidade com o foco de nosso estudo, como descrito na Tabela 1.

Quadro 1: Trabalhos utilizados na revisão de literatura

| Título | Autor(a)/Autores | Ano de publicação |
|---|---------------------------------|--------------------------|
| Cidades médias brasileiras: que perfil é esse?. | Bogniotti | 2018 |
| Possibilidades de construção de conhecimento geográfico a partir do uso da Plataforma de mapeamento colaborativo Google My Maps. | Silva; Nascimento & Fabrício | 2022 |
| Análise da distribuição e área de influência dos equipamentos comunitários de educação da Rede Pública Municipal da cidade de Uberlândia-MG | Xavier | 2022 |
| Desafios da desvalorização docente e da sobrecarga de trabalho na educação: Impactos na qualidade do ensino e no bem-estar dos professores. | Freires et al | 2023 |
| Education and Social Justice: The Impact of Socioeconomic Status on Educational Outcomes. | Alexander | 2019 |
| The Role of Supportive School Environments in Promoting Academic Success. | Allensworth & Easton | 2020 |
| Learning to Improve: How America’s Schools Can Get Better at Getting Better. | Bryk, Gomez, Grunow, & LeMahieu | 2018 |
| Closing the Opportunity Gap: What America Must Do to Give Every Child an Even Chance. | Carter & Welner | 2019 |
| Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.) | Creswell & Creswell | 2018 |
| The Flat World and Education: How America’s Commitment to Equity Will Determine Our Future. | Darling-Hammond | 2018 |

| Título | Autor(a)/Autores | Ano de publicação |
|--|--|-------------------|
| Educational Inequality and School Segregation: A Structural Approach. | Frankenberg & Orfield | 2021 |
| Schools Under Siege: The Impact of Inequitable Funding on America's Urban Schools. Brookings Institution Press. | Garcia | 2019 |
| The Changing Face of the Teaching Force: New Teachers in the American Workforce. | Ingersoll | 2020 |
| Savage Inequalities: Children in America's Schools. | Kozol | 2019 |
| The Dreamkeepers: Successful Teachers of African American Children (2nd ed.). | Ladson-Billings | 2019 |
| American Apartheid: Segregation and the Making of the Underclass. | Massey & Denton | 2018 |
| The Trouble with Black Boys: ...And Other Reflections on Race, Equity, and the Future of Public Education. | Noguera | 2018 |
| Racial Transformation and the Changing Nature of Segregation. | Orfield & Lee | 2018 |
| Inequality in Children's Contexts: Income Segregation of Households with and without Children. | Owens | 2020 |
| The Widening Academic Achievement Gap between the Rich and the Poor: New Evidence and Possible Explanations. | Reardon | 2019 |
| The Consequences of Dropping Out of High School: Joblessness and Jailing for High School Dropouts and the High Cost for Taxpayers. | Rumberger | 2019 |
| Teacher Turnover in High-Poverty Schools: What We Know and Can Do. | Simon & Johnson | 2021 |
| Impact of Bolsa Família on Education: Evidence and Perspectives. | Soares | 2021 |
| My Brother's Keeper: Advancing Equity and Excellence for All. U.S. | United States Department of Education. | 2020 |
| Case Study Research and Applications: Design and Methods (6th ed.). | Yin | 2020 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Sendo assim, os artigos mencionados serão sujeitos a uma análise nos próximos capítulos. Desse modo, este processo de avaliação permitirá uma compreensão aprofundada de seu conteúdo e contribuirá significativamente para o desenvolvimento do argumento proposto. Nessa visão, ao examiná-los, será possível identificar padrões, tendências e lacunas que enriquecerão a pesquisa e fortalecerão as conclusões a serem alcançadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo da pesquisa foi investigar os impactos da segregação socioespacial no desempenho acadêmico dos alunos nos anos finais do ensino fundamental. A pesquisa buscou entender como as desigualdades geográficas afetam a distribuição de recursos educacionais e oportunidades, contribuindo para ciclos de desvantagem e perpetuando disparidades socioeconômicas.

Os dados coletados revelaram que a segregação socioespacial tem um impacto profundo e negativo sobre a qualidade da educação nas áreas de menor renda. Escolas

localizadas em bairros de baixa renda enfrentam desafios significativos, como infraestrutura inadequada, falta de recursos didáticos e tecnológicos, dificuldade em atrair e reter professores qualificados, e menor apoio institucional. Esses fatores combinados resultam em um desempenho acadêmico inferior dos alunos nessas regiões.

Análises detalhadas mostraram que escolas em áreas de baixa renda carecem de manutenção adequada e sofrem com a superlotação, afetando negativamente o ambiente de aprendizado. Há uma disparidade significativa na distribuição de recursos didáticos e tecnológicos, com alunos em escolas de baixa renda tendo acesso limitado a computadores e internet de alta velocidade. Além disso, a rotatividade de professores é maior em escolas de áreas desfavorecidas, prejudicando a continuidade e qualidade do ensino. Programas de apoio institucional, como tutoria e serviços de saúde mental, são menos disponíveis em escolas de baixa renda, contribuindo para problemas comportamentais e acadêmicos. Alunos em escolas altamente segregadas relatam níveis mais altos de estresse e ansiedade, afetando sua motivação e desempenho acadêmico.

Esses achados confirmam o que a literatura já mostrou. Estudos anteriores, como os de Freires et al. (2023), Owens (2020), e Simon e Johnson (2021), já demonstraram que a segregação socioespacial contribui para disparidades significativas na infraestrutura escolar, recursos didáticos, qualificação de professores e apoio institucional, resultando em um desempenho acadêmico inferior dos alunos em áreas de baixa renda. Os resultados da pesquisa não refutam diretamente achados anteriores, mas corroboram e expandem as evidências de que a segregação socioespacial tem impactos negativos profundos e multifacetados sobre a educação.

A novidade trazida por este estudo reside na análise detalhada e abrangente utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear padrões de segregação socioespacial e suas correlações com dados educacionais. A utilização de SIG permitiu uma visualização mais precisa das disparidades geográficas e seus impactos diretos nas condições escolares e no desempenho acadêmico. Além disso, a pesquisa integrou uma análise de múltiplos fatores, incluindo infraestrutura, recursos tecnológicos, qualificação de professores e apoio institucional, proporcionando uma visão holística dos desafios enfrentados pelas escolas em áreas de baixa renda.

Os resultados da pesquisa preenchem várias lacunas na literatura existente ao fornecer uma análise georreferenciada dos padrões de segregação socioespacial, integrar

múltiplos fatores em uma única análise abrangente, e demonstrar a correlação entre segregação socioespacial e resultados educacionais de forma visual e quantitativa, usando dados estatísticos e estudos de caso. Considerando os estudos apresentados no referencial teórico, o presente estudo avança a literatura ao oferecer uma metodologia inovadora e detalhada para analisar os impactos da segregação socioespacial na educação. A utilização de SIG para mapear padrões de segregação e correlacioná-los com dados educacionais proporciona uma compreensão mais precisa e visual das desigualdades. Além disso, ao integrar múltiplos fatores de influência e oferecer uma análise ampla e diversificada, o estudo fornece uma base sólida para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e direcionadas para mitigar os impactos negativos da segregação socioespacial na educação.

Com isso, a pesquisa confirma achados anteriores, mas também expande e aprofunda a compreensão dos impactos da segregação socioespacial na educação, oferecendo novas ferramentas e perspectivas para abordar essas desigualdades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa destacou a importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como uma ferramenta essencial para a análise da segregação socioespacial e seus impactos na educação dos anos finais do ensino fundamental em áreas urbanas. Ao longo do estudo, foi possível identificar e mapear padrões significativos de segregação socioespacial, demonstrando como esses padrões afetam a distribuição de recursos educacionais e o desempenho acadêmico dos alunos.

Os resultados mostraram que a segregação socioespacial, muitas vezes refletida na distribuição desigual de serviços públicos, incluindo a educação, cria barreiras que dificultam o acesso equitativo a oportunidades educacionais. Escolas situadas em áreas de menor renda enfrentam desafios consideráveis, como a falta de recursos adequados e infraestrutura, enquanto escolas em áreas mais privilegiadas tendem a ter melhor acesso a recursos e suporte educacional. Essa disparidade contribui para a perpetuação das desigualdades socioeconômicas e limita as perspectivas de desenvolvimento acadêmico e social dos alunos das áreas mais desfavorecidas.

A análise utilizando SIG permitiu uma visualização clara desses padrões e suas correlações com indicadores socioeconômicos, como renda familiar, taxa de criminalidade e acesso ao transporte público. Este tipo de análise é fundamental para a formulação de

políticas públicas mais informadas e eficazes, que possam mitigar os efeitos negativos da segregação socioespacial. Com a identificação dos padrões de desigualdade, é possível desenvolver estratégias específicas para direcionar recursos e intervenções onde são mais necessários, promovendo uma distribuição mais equitativa de oportunidades educacionais.

Além disso, a integração de SIG com tecnologias emergentes, como inteligência artificial e big data, proporciona uma abordagem robusta para a análise e solução de problemas complexos relacionados à segregação socioespacial. Essas tecnologias ampliam a capacidade de processamento e análise de grandes volumes de dados georreferenciados, revelando correlações e padrões que seriam difíceis de identificar por métodos tradicionais. Portanto, a aplicação dessas ferramentas não só melhora a compreensão dos problemas existentes, mas também abre novas possibilidades para intervenções inovadoras e eficazes.

Esta pesquisa também enfatizou a importância de políticas educacionais baseadas em evidências que considerem as especificidades socioespaciais de cada região. Ao utilizar as análises de SIG para desenvolver e implementar estratégias educacionais, é possível abordar de maneira mais eficaz as necessidades particulares de cada comunidade, promovendo a equidade e melhorando os resultados educacionais de forma geral.

Em síntese, o uso de SIG na análise da segregação socioespacial oferece uma perspectiva poderosa e detalhada para entender e abordar as desigualdades na educação. Esta pesquisa contribuiu para ampliar o conhecimento sobre o tema e sugeriu caminhos para a formulação de políticas mais justas e eficazes. No entanto, reconhece-se a necessidade de estudos futuros que continuem a explorar essas questões, incorporando novas tecnologias e abordagens para enfrentar os desafios persistentes da segregação socioespacial e suas implicações na educação.

Por fim, espera-se que os achados deste estudo incentivem educadores, gestores e formuladores de políticas a adotarem uma abordagem mais integrada e baseada em dados para a promoção da equidade educacional, beneficiando não apenas os alunos, mas a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS

Alexander, R. (2019). *Education and Social Justice: The Impact of Socioeconomic Status on Educational Outcomes*. Routledge.

Allensworth, E., & Easton, J. Q. (2020). *The Role of Supportive School Environments in Promoting Academic Success*. University of Chicago Press.

- Bogniotti, G. M. C. (2018). *Cidades médias brasileiras: que perfil é esse?*.
- Bryk, A. S., Gomez, L. M., Grunow, A., & LeMahieu, P. G. (2018). *Learning to Improve: How America's Schools Can Get Better at Getting Better*. Harvard Education Press.
- Carter, P. L., & Welner, K. G. (Eds.). (2019). *Closing the Opportunity Gap: What America Must Do to Give Every Child an Even Chance*. Oxford University Press.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). Sage Publications.
- Darling-Hammond, L. (2018). *The Flat World and Education: How America's Commitment to Equity Will Determine Our Future*. Teachers College Press.
- Frankenberg, E., & Orfield, G. (Eds.). (2021). *Educational Inequality and School Segregation: A Structural Approach*. Harvard Education Press.
- Freires, K. C. P.; Costa, C. B. S. ; Araújo Junior, E. (2023) *A busca pela verdade: Uma revisão de literatura sobre as implicações histórico- sociais, conexões matemáticas e a concepção da teoria da árvore*. 1. Ed. Iguatu: Quipá. V. 1. 60p .
- Freires, K. C. P.; Sales, F. O.; Silva, M. C.; Silva, M. A. M. P.; Vasconcelos, A. F. (2023). *Desafios da desvalorização docente e da sobrecarga de trabalho na educação: Impactos na qualidade do ensino e no bem-estar dos professores*. *Brazilian journal of education*, v. 1, p. 11-25. Disponível em: <https://www.brazilianjournalofeducation.com/v1n1>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Garcia, E. (2019). *Schools Under Siege: The Impact of Inequitable Funding on America's Urban Schools*. Brookings Institution Press.
- Ingersoll, R. M. (2020). *The Changing Face of the Teaching Force: New Teachers in the American Workforce*. *Educational Researcher*, 49(8), 597-611. Disponível em: <https://www.gse.upenn.edu/system/files/The-changing-face-of-teaching.pdf>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Kozol, J. (2019). *Savage Inequalities: Children in America's Schools*. Broadway Books.
- Ladson-Billings, G. (2019). *The Dreamkeepers: Successful Teachers of African American Children* (2nd ed.). Jossey-Bass.
- Lopes, J. J. M. (2020). *Metodologia qualitativas em educação: Um breve percurso de origem*. *Revista ces, juiz de fora*, v. 14, n. 2, p. 32-42.
- Massey, D. S., & Denton, N. A. (2018). *American Apartheid: Segregation and the Making of the Underclass*. Harvard University Press.

- Noguera, P. A. (2018). *The Trouble with Black Boys: ...And Other Reflections on Race, Equity, and the Future of Public Education*. Wiley.
- Orfield, G., & Lee, C. (2018). *Racial Transformation and the Changing Nature of Segregation*. Civil Rights Project/Proyecto Derechos Civiles, UCLA.
- Owens, A. (2020). Inequality in Children's Contexts: Income Segregation of Households with and without Children. *American Sociological Review*, 85(3), 563-589. Disponível em: [10.1177/0003122416642430](https://doi.org/10.1177/0003122416642430). Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Pizzani, L., da Silva, R. C., Bello, S. F., & Hayashi, M. C. P. I. (2012). A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. *RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 10(2), 53-66. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/rdbci.v10i1.1896>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Reardon, S. F. (2019). The Widening Academic Achievement Gap between the Rich and the Poor: New Evidence and Possible Explanations. *Educational Leadership*, 70(8), 10-16. Disponível em: <https://cepa.stanford.edu/content/widening-academic-achievement-gap-between-rich-and-poor-new-evidence-and-possible-explanations>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Rumberger, R. W. (2019). *The Consequences of Dropping Out of High School: Joblessness and Jailing for High School Dropouts and the High Cost for Taxpayers*. Center for Labor Market Studies Publications. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2047/d20000596>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Silva, L. D. C., Nascimento, D. T. F., & Fabrício, L. V. (2022). Possibilidades de construção de conhecimento geográfico a partir do uso da Plataforma de mapeamento colaborativo Google My Maps. *Revista Brasileira de Educação em Geografia*, 12(22), 05-31. Disponível em: <https://doi.org/10.46789/edugeo.v12i22.1006>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Simon, N. S., & Johnson, S. M. (2021). Teacher Turnover in High-Poverty Schools: What We Know and Can Do. *The Elementary School Journal*, 121(2), 295-310. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00131888.2021.1911111>. Acesso em: 20 de jun. 2024.
- Soares, S. (2021). *Impact of Bolsa Família on Education: Evidence and Perspectives*. World Bank Group.
- Sousa, A. S. de; Oliveira, G. S. de; Alves, L. H. (2021). A Pesquisa bibliográfica: Princípios e fundamentos. *Cadernos da fucamp, minas gerais*, v. 20, Ed. 43, p. 64-83. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336>. Acesso em: 20 de jun. 2024.

United States Department of Education. (2020). *My Brother's Keeper: Advancing Equity and Excellence for All*. U.S. Government Printing Office.

Xavier, J. L. (2022). *Análise da distribuição e área de influência dos equipamentos comunitários de educação da Rede Pública Municipal da cidade de Uberlândia-MG*.

Yin, R. K. (2020). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). Sage Publications.

CURVA ABC E GESTÃO DE ESTOQUE EM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO DE COMIDA ORIENTAL DE TERESINA-PI¹

ABC CURVE AND INVENTORY MANAGEMENT IN ORIENTAL FOOD DISTRIBUTION CENTER IN TERESINA-PI

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-25

Thácila Sterfany Lima Oliveira¹

Rhubens Ewald Moura Ribeiro²

Gilberto de Araújo Costa³

Amélia Acácia de Miranda Batista⁴

Antônio de Lisboa Lopes de Araújo⁵

Eldelita Aguida Porfírio Franco⁶

¹ Graduanda em Engenharia de Produção no Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / thacilaoliveira660@gmail.com

² Mestre em Administração - UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / rhubens.ribeiro@gmail.com

³ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / gilbertodearaujocosta@gmail.com

⁴ Mestra em Engenharia da Eletricidade com ênfase na Ciência da Computação – UFMA. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / ameliabatista@unifsa.com.br

⁵ Mestre em Economia – UFC. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / lisboalopes@gmail.com

⁶ Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / eldelita@unifsa.com.br

RESUMO

A administração de estoque em centros de distribuição de alimentos orientais em Teresina é um processo vital que busca assegurar a eficiência operacional, a satisfação dos clientes e a diminuição de custos. Esse processo envolve a coordenação de diversos aspectos, como o controle de entrada e saída de produtos, o monitoramento dos níveis de estoque e a previsão de demanda. A culinária oriental, com suas especificidades, demanda uma atenção especial na gestão de estoque devido à diversidade de ingredientes, muitos dos quais são perecíveis e importados, o que acrescenta desafios logísticos e financeiros. Em Teresina, a demanda por alimentos orientais tem aumentado, impulsionada pelo crescente interesse da população por uma culinária exótica e saudável. Os centros de distribuição precisam adotar estratégias eficazes para gerenciar estoques mínimos e máximos, garantindo que os produtos estejam sempre

disponíveis sem gerar excesso de inventário. Isso inclui a implementação de sistemas de gestão de estoque (ERP) que permitem o monitoramento em tempo real e a utilização de técnicas de previsão de demanda baseadas em dados históricos e tendências de mercado. Além disso, a parceria com fornecedores confiáveis é essencial para assegurar a regularidade no fornecimento e a qualidade dos produtos. Práticas sustentáveis e a redução do desperdício são também cruciais para uma gestão eficiente, considerando o custo elevado e a perecibilidade dos ingredientes. A capacitação dos funcionários e a melhoria contínua dos processos são fundamentais para otimizar a gestão de estoque, reduzir custos operacionais e atender às expectativas dos consumidores mantendo a qualidade dos produtos.

Palavras-chave: Gestão de estoque. Operacional. Previsão. Produtos.

¹ A primeira versão do artigo foi originalmente aceita para publicação nos anais do I Simpósio Regional de Engenharia (SIMPREIT) realizado de 01 a 03 de agosto de 2024. <https://www.even3.com.br/simpreit/>. O mesmo foi atualizado e agora publicado como capítulo de livro.

ABSTRACT

Inventory management in oriental food distribution centers in Teresina is a vital process that seeks to ensure operational efficiency, customer satisfaction and cost reduction. This process involves the coordination of several aspects, such as controlling the entry and exit of products, monitoring stock levels and forecasting demand. Oriental cuisine, with its specificities, demands special attention in stock management due to the diversity of ingredients, many of which are perishable and imported, which adds logistical and financial challenges. In Teresina, the demand for oriental foods has increased, driven by the population's growing interest in exotic and healthy cuisine. Distribution centers need to adopt effective strategies to manage minimum and maximum

stocks, ensuring that products are always available without generating excess inventory. This includes the implementation of inventory management systems (ERP) that allow real-time monitoring and the use of demand forecasting techniques based on historical data and market trends. Furthermore, partnership with reliable suppliers is essential to ensure regular supply and product quality. Sustainable practices and waste reduction are also crucial for efficient management, considering the high cost and perishability of ingredients. Employee training and continuous process improvement are fundamental to optimizing inventory management, reducing operational costs and meeting consumer expectations maintaining the quality of the products.

Keywords: Inventory management. Operational. Forecast. Products.

1. INTRODUÇÃO

O controle de estoque é essencial para prevenir alterações inesperadas, além de organizar e gerenciar as entradas e saídas de produtos. A eficiência na organização do centro de distribuição é crucial, uma vez que absorve um capital considerável que poderia ser investido em outras áreas. A alta competitividade no mercado e a busca por oferecer produtos finais de qualidade destacam a importância desse controle (Oliveira; Silva, 2014).

Em um contexto de grande instabilidade no estoque, as quantidades podem variar repentinamente, seja por escassez de produtos no mercado fornecedor, datas comemorativas ou excesso de estoque. Uma falta de organização pode impactar negativamente as finanças da empresa. Atualmente, muitas empresas mantêm um estoque de segurança e um estoque mínimo para operações diárias (Martelli; Dandaro, 2015).

Para melhorar a gestão, proponho a implementação de um sistema de estoque voltado para alimentos orientais naturais aquáticos. Esses alimentos, que são melhor aproveitados quando frescos, têm uma vida útil curta. Utilizando tecnologias para monitorar e registrar informações sobre os produtos, é possível otimizar a organização e o controle do estoque, garantindo a qualidade dos alimentos oferecidos (Silva; Mauri; Freitas, 2019).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. GESTÃO DE ESTOQUE

A gestão de estoque é um componente essencial para o sucesso de qualquer operação que envolva armazenamento e distribuição de produtos. Estoque é definido como a armazenagem de bens dentro de um sistema de transformação, englobando todos os itens que precisam ser estocados. No entanto, a gestão eficiente de estoque não se resume apenas à armazenagem; ela requer uma organização meticulosa e um acompanhamento contínuo para antecipar e mitigar imprevistos, assegurando a disponibilidade dos produtos no momento certo (Santos; Santos; Ribeiro, 2023).

A fiscalização eficiente do estoque tem um impacto significativo na rentabilidade da empresa. O controle de estoque não é apenas uma questão operacional, mas também financeira, já que o capital investido em estoque e os custos associados à sua manutenção podem ser substanciais. Atualmente, o controle de estoque muitas vezes começa com os próprios fornecedores, que monitoram a demanda dos clientes e se preparam para atender a essas necessidades de maneira eficaz (Silva; Oliveira, 2014).

Para melhorar a qualidade e a confiabilidade do controle de estoque, foram utilizados documentos geradores de informações que ajudam a elevar os padrões ao longo do tempo. Um fluxo de catalogação foi estabelecido para organizar as informações e identificar oportunidades de desenvolvimento. Distorções entre o estoque físico e o fictício foram identificadas como um ponto crítico para a correção de erros mínimos. Inconsistências nas informações ou no saldo de estoque podem perturbar o controle diário, especialmente em estabelecimentos que realizam distribuição diária de produtos. O estoque é fundamental para gerenciar incertezas quanto à demanda futura, prevenindo situações adversas. No entanto, é essencial aprofundar a acuracidade do estoque, com foco em dados reais sobre os produtos armazenados (Miranda; Accioly; Ayres, 2019).

Conforme Rufino, Ribeiro e Moura (2022), a Curva ABC é uma ferramenta amplamente utilizada na gestão de estoques para classificar os itens de acordo com sua importância e impacto. Baseada no princípio de Pareto, que observa que uma pequena porcentagem de itens representa uma grande parte do valor total, a Curva ABC divide os itens em três categorias:

- **Classe A:** Itens de maior valor, que representam uma pequena porcentagem do total (aproximadamente 20%), mas contribuem com uma grande parte do valor ou impacto (cerca de 80%). Esses itens requerem controle rigoroso e atenção constante para garantir sua disponibilidade e gestão eficaz.
- **Classe B:** Itens de importância intermediária, que representam uma porcentagem média tanto em termos de quantidade quanto de valor (cerca de 30% dos itens e 15% do valor). Eles necessitam de uma gestão equilibrada para assegurar eficiência operacional.
- **Classe C:** Itens de menor valor, que constituem a maior parte do número total de itens (aproximadamente 50%), mas representam uma pequena parcela do valor total (cerca de 5%). Esses itens podem ser geridos com um controle mais simplificado.

A aplicação da Curva ABC ajuda a priorizar esforços e recursos na gestão de estoques, otimizando a eficiência operacional, reduzindo custos e melhorando a satisfação do cliente ao atender às suas demandas com maior precisão e eficácia (Silva; Leite, 2019).

Conforme Pozo (2010), o cálculo do estoque máximo envolve a adição do estoque mínimo ao volume de vendas do período. O estoque máximo deve ser suficiente para acomodar as flutuações do mercado, garantindo que o volume de vendas atinja níveis ideais dentro dos limites aceitáveis de estoque. A fórmula para determinar o estoque máximo é:

$$EM_{\text{Máx}} = E_{\text{Min}} + VEM_{\text{Máx}} = E_{\text{Min}} + VEM_{\text{Máx}} = E_{\text{Min}} + V$$

onde:

- $EM_{\text{Máx}}$ representa o Estoque Máximo,
- E_{Min} representa o Estoque Mínimo,
- V representa o Volume de Vendas.

2.2. ESTOQUE MÍNIMO E MÁXIMO

A Curva ABC, que se baseia na teoria de Vilfredo Pareto, é uma ferramenta crucial para a administração eficaz de estoques. O princípio 80/20 de Pareto, que afirma que uma pequena parcela de itens (20%) detém a maior parte do valor ou impacto (80%), é aplicado para classificar os itens em três categorias:

- **Classe A:** Itens críticos que requerem controle rigoroso.
- **Classe B:** Itens de importância intermediária que necessitam de uma gestão equilibrada.

- Classe C: Itens menos valiosos que exigem um controle simplificado.

A utilização da Curva ABC facilita a gestão de estoques ao garantir que os itens mais críticos recebam a atenção necessária, enquanto os itens menos valiosos são geridos de forma mais simples. Esta abordagem ajuda a otimizar a operação, reduzir custos e melhorar a precisão no atendimento às demandas dos clientes (Silva; Leite, 2019).

De acordo com Pozo (2010), o estoque máximo é obtido ao somar o estoque mínimo com o volume de vendas do período. Essa fórmula permite que o estoque máximo seja ajustado para lidar com variações do mercado, assegurando que o nível de vendas seja alcançado dentro dos limites aceitáveis de estoque.

2.2.1. Mercado de Comida Oriental no Brasil

O mercado de produtos orientais no Brasil tem mostrado um crescimento significativo e diversificado. Alimentos típicos como molho de soja, algas, tofu e noodles estão se tornando cada vez mais comuns em supermercados. Além disso, lojas especializadas em produtos asiáticos oferecem uma vasta gama de itens, desde utensílios de cozinha até cosméticos. O mercado de produtos tecnológicos, especialmente eletrônicos e gadgets de marcas japonesas e coreanas, também é robusto no Brasil.

A imigração oriental no Brasil começou de forma significativa com a chegada dos primeiros imigrantes japoneses no início do século XX. O navio Kasato Maru trouxe cerca de 800 japoneses em 1908 para trabalhar nas plantações de café em São Paulo. Esse fluxo migratório aumentou nas décadas seguintes, especialmente durante e após a Segunda Guerra Mundial, quando muitos japoneses buscaram novas oportunidades fora de seu país natal. Além dos japoneses, imigrantes chineses e coreanos também chegaram ao Brasil, cada grupo contribuindo com suas tradições culturais e práticas comerciais (Ferreira, 2010).

Na indústria de comida japonesa, a gestão de estoque enfrenta desafios significativos devido à perecibilidade dos ingredientes. Produtos como peixes frescos, algas marinhas e vegetais específicos têm prazos de validade relativamente curtos, exigindo um controle rigoroso das entradas e saídas para evitar desperdícios e garantir a qualidade dos pratos oferecidos. Além disso, a importação de ingredientes autênticos do Japão pode complicar a logística e aumentar os custos financeiros (Arozo, 2022).

Para superar esses desafios, as empresas do setor de comida japonesa no Brasil têm adotado várias estratégias. A implementação de sistemas de gestão de estoque, como o ERP,

permite o monitoramento em tempo real dos níveis de estoque, facilitando a tomada de decisões e a previsão de demanda. A colaboração com fornecedores confiáveis, tanto locais quanto internacionais, é fundamental para garantir o abastecimento constante de ingredientes frescos e de alta qualidade (Spoladores, 2018). Adicionalmente, a diversificação dos fornecedores e a busca por alternativas regionais para ingredientes específicos ajudam a reduzir a dependência de importações e a minimizar riscos associados a problemas logísticos e flutuações cambiais. Técnicas adequadas de armazenamento, como refrigeração e congelamento, também são cruciais para preservar a qualidade dos ingredientes perecíveis ao longo do tempo.

3. METODOLOGIA

Para realizar a pesquisa sobre a gestão de estoque oriental em Teresina, foram selecionados autores com vasta experiência na área de logística e gestão de estoques, especialmente focados na alimentação oriental.

Foram selecionados cinco centros de distribuição de alimentos orientais em Teresina, escolhidos com base em critérios como volume de operações, diversidade de produtos e representatividade no mercado local. A coleta de dados foi realizada utilizando sistemas de gestão de estoque (ERP) para obter informações detalhadas e precisas. Equipamentos como balanças de precisão, termômetros de armazenamento e sistemas de monitoramento em tempo real foram utilizados para garantir a exatidão dos dados coletados.

Procedimentos de controle de qualidade e calibração foram seguidos rigorosamente para garantir a confiabilidade dos dados. Os dados foram analisados de forma a permitir uma compreensão abrangente e integrada dos aspectos quantitativos e qualitativos da gestão de estoque oriental em Teresina.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A gestão de estoque em centros de distribuição de alimentos orientais em Teresina é um processo crítico que visa garantir a eficiência operacional, a satisfação do cliente e a redução de custos. A culinária oriental, com suas particularidades, exige uma atenção especial na gestão de estoque devido à diversidade de ingredientes, muitos dos quais são perecíveis e importados, o que acrescenta desafios logísticos e financeiros.

Eficiência Operacional: A implementação de sistemas de gestão de estoque (ERP) possibilitou um monitoramento em tempo real dos níveis de estoque, otimizando a reposição de produtos e evitando rupturas no abastecimento.

Satisfação do Cliente: A gestão eficiente de estoques resultou em uma melhoria significativa na disponibilidade dos produtos orientais, atendendo às expectativas dos clientes em relação à variedade e qualidade dos alimentos oferecidos.

Redução de Custos: A adoção de práticas sustentáveis, como a redução do desperdício e o uso eficiente dos recursos, contribuiu para a diminuição dos custos operacionais na gestão de estoque.

Desafios Logísticos e Financeiros: A diversidade de ingredientes perecíveis e importados apresentou desafios significativos na gestão de estoque, exigindo uma coordenação precisa para evitar perdas e garantir a qualidade dos produtos.

Parcerias com Fornecedores: A parceria com fornecedores confiáveis foi essencial para garantir a regularidade no fornecimento de ingredientes frescos e de alta qualidade, contribuindo para a manutenção da autenticidade dos pratos orientais.

Melhoria Contínua dos Processos: A capacitação dos funcionários e a busca por melhorias contínuas nos processos de gestão de estoque foram fundamentais para otimizar a eficiência operacional e reduzir custos, mantendo a competitividade no mercado de alimentos orientais em Teresina.

Em suma, os resultados obtidos demonstram a importância da gestão eficiente de estoque na indústria de alimentos orientais em Teresina, destacando a necessidade de estratégias integradas que visem a eficiência operacional, a satisfação do cliente e a sustentabilidade financeira das empresas do setor.

A metodologia aplicada da curva ABC é uma técnica de classificação utilizada para categorizar itens com base em sua importância, geralmente definida pelo valor total de consumo. Ela é frequentemente usada em gestão de estoques para identificar os itens mais críticos. Descreve-se a seguir como foi feita a curva ABC:

Coleta de Dados: Reuniu-se dados sobre os itens que desejava analisar, como o valor de consumo ou vendas de cada item em um período específico com uma planilha mês que existe na empresa onde obtém as seguintes informações.

Cálculo do Valor Total de Consumo: Calculou-se o valor total de consumo de cada item multiplicando a quantidade consumida pelo seu preço unitário.

Ordenação: Ordenaram-se os itens em ordem decrescente de valor total de consumo.

Cálculo do Percentual Acumulado: Calculou-se o percentual acumulado do valor total de consumo para cada item. Isso foi feito dividindo o valor total de consumo de cada item pelo valor total de consumo de todos os itens e somando esses valores cumulativamente.

Classificação ABC, pode ser programado para identificar por cores de acordo com a porcentagem:

- Classe A: Itens que representaram aproximadamente 70-80% do valor total de consumo, mas geralmente foram 10-20% do número total de itens.
- Classe B: Itens que representaram aproximadamente 15-25% do valor total de consumo e geralmente foram 30% do número total de itens.
- Classe C: Itens que representaram aproximadamente 5-10% do valor total de consumo, mas foram a maior parte do número total de itens, geralmente 50-60%.

Análise e Ação: Com os itens classificados, focou a gestão de estoques nos itens da Classe A, que são os mais críticos para o negócio, enquanto os itens da Classe C foram geridos com menos rigor.

Os resultados obtidos evidenciam a importância crucial da gestão eficiente de estoque na indústria de alimentos orientais em Teresina. A análise revela que a implementação de estratégias de gestão de estoque não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui significativamente para a satisfação do cliente e para a sustentabilidade financeira das empresas do setor. A capacidade de gerenciar adequadamente os níveis de estoque, garantir a qualidade dos produtos e atender às demandas de forma precisa é fundamental para manter a competitividade e o sucesso das empresas

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da Curva ABC e a criação de uma planilha para sua análise mostraram-se ferramentas valiosas na gestão de estoques e na otimização dos recursos empresariais. A Curva ABC, ao classificar os itens em categorias A, B e C, permitiu identificar quais itens são mais críticos para a operação, possibilitando uma gestão mais focada e eficiente. Essa metodologia facilitou a priorização dos itens mais importantes, ajudando a reduzir excessos e faltas de estoque. Com isso, a gestão do estoque tornou-se mais direcionada e eficaz, proporcionando uma alocação mais estratégica dos recursos financeiros e operacionais.

As planilhas desenvolvidas para a análise da Curva ABC forneceram uma visualização clara e precisa dos dados, permitindo que os gestores tomassem decisões mais informadas e estratégicas. A utilização dessas ferramentas contribuiu para a redução de custos operacionais, minimizando desperdícios e maximizando a utilização dos recursos disponíveis. A análise detalhada possibilitou um controle mais rigoroso e uma resposta mais ágil às variações na demanda, melhorando a eficiência geral da operação.

No entanto, a implementação do método também trouxe à tona alguns desafios importantes. Entre eles, destaca-se a necessidade de dados precisos e atualizados para uma correta classificação dos itens. Um sistema de informação robusto é essencial para suportar a análise contínua e garantir a integridade dos dados. A configuração e personalização inicial da planilha exigiram um esforço significativo para atender às necessidades específicas da organização.

Para enfrentar esses desafios, foi necessário investir no treinamento dos colaboradores para que compreendessem a importância da Curva ABC e soubessem utilizar a planilha de forma eficaz. A atualização contínua dos dados de estoque é crucial para garantir a precisão das análises e classificações. Além disso, a integração da planilha com sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP) pode automatizar a coleta de dados e a atualização das informações, tornando o processo mais eficiente e menos suscetível a erros.

A revisão periódica da classificação ABC é outra prática recomendada. Realizar ajustes conforme as mudanças nas demandas e nos padrões de consumo é essencial para manter a eficácia da gestão de estoques e assegurar que as estratégias permaneçam alinhadas com as necessidades do mercado.

Em suma, a implementação da Curva ABC e a utilização de uma planilha para sua análise proporcionaram avanços significativos na gestão de estoques. Essas ferramentas contribuíram para a melhoria da eficiência operacional e dos resultados financeiros, demonstrando sua eficácia na otimização dos processos e na gestão estratégica dos recursos. A adoção dessas práticas é altamente recomendada para organizações que buscam aprimorar seus processos de gestão de estoques e alcançar uma operação mais estratégica e eficaz.

REFERÊNCIAS

AROZO, Rodrigo. Monitoramento de desempenho na gestão de estoque. Revista Tecnológica, v. 85, n. 48-53, 2002.

- CRUZ, Anderson Barboza. Comparação entre modelos de previsão de demanda: estudo de caso de um restaurante de comida japonesa. REMAT: Revista Eletrônica da Matemática, v. 2, n. 2, p. 180-197, 2016.
- FACCHINI, Eduardo; DA SILVA, Juliano Rubens; LEITE, Vitor Machado. Curva ABC e estoque de segurança. South American Development Society Journal, v. 5, n. 13, p. 73, 2019.
- OLIVEIRA, Marcela Maria Eloy Paixão; SILVA, Rafaella Machado Rosa da. Gestão de estoque.[...]. Cuiabá: Instituto Cuiabano de Educação, 2014.
- POLACK, Bárbara Ciupak. A gestão de estoques em restaurantes: uma análise em estabelecimentos com diferentes portes e tipos de serviços no Rio Grande do Norte. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- RUFINO, Regiel Borges; RIBEIRO, Rhubens Ewald Moura; MOURA, Kaíque Barbosa de. METODOLOGIA ABC APLICADA À GESTÃO DE ESTOQUES PARA CONSTRUÇÃO DE VANTAGEM COMPETITIVA EM UMA EMPRESA DE VAREJO DE CONSTRUÇÃO. Em: Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP. Lorena (SP) EEL-USP, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/saepro2022/495337-metodologia-abc-aplicada-a-gestao-de-estoques-para-construcao-de-vantagem-competitiva-em-uma-empresa-de-varejo-de>
- SANTOS, Bruno Carlos et al. Gestão de estoque. Revista de trabalhos acadêmicos-Universo, Niterói/RJ, v. 1, n. 09, 2014.
- SANTOS, Antonio Felipe de Sousa; SANTOS, Luis Henrique dos; RIBEIRO, Rhubens Ewald Moura. GESTÃO DE ESTOQUE: APLICAÇÃO DE JUST IN TIME EM UMA FÁBRICA DE EMBALAGENS DE TERESINA-PI. Em: Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP. Lorena (SP) EEL-USP, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/saepro2023/636997-gestao-de-estoque--aplicacao-de-just-in-time-em-uma-fabrica-de-embalagens-de-teresina-pi>
- SILVA, Kátia Beatriz Amaral; MADEIRA, Geová José. Gestão de estoques e lucro da empresa. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2004.
- SILVA, Rayane Vieira; MAURI, Gabriela De Nadai; DE FREITAS, Rodrigo Randow. UM MODELO GERENCIAL DE ESTOQUE, CONTROLE DOS FORNECEDORES E SATISFAÇÃO DO CLIENTE EM RESTAURANTES DE COMIDA JAPONESA. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 12, n. 1, p. 87-98, 2019.
- SPOLADORE, Alexandre Rossetto et al. Proposta de otimização de estoque de uma empresa em Dourados-MS. 2018.

CAPÍTULO XXVI

GESTÃO DE ESTOQUE EM MICROEMPRESAS: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS E OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE MOVIMENTAÇÃO

INVENTORY MANAGEMENT IN MICRO ENTERPRISES: STRATEGIES FOR REDUCING COSTS AND OPTIMIZING HANDLING TIME

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-26

Adolfo Sobrinho Moraes¹

Alessandra Leite²

Amélia Acácia de Miranda Batista³

Eldelita Aguida Porfírio Franco⁴

Luan Everson de Oliveira Brito⁵

Rhubens Ewald Moura Ribeiro⁶

¹ Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

² Mestra em Sociologia pelo Programa de Pós-Graduação em Sociologia – UFPI

³ Mestra em Engenharia da Eletricidade com ênfase na Ciência da Computação – UFMA. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁴ Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁵ Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁶ Mestre em Administração - UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

RESUMO

A gestão de estoque é um tema de grande relevância para grandes organizações, mas ainda subutilizado por micro e pequenas empresas. Em um cenário de crescente competitividade, empresas mais preparadas e organizadas, especialmente aquelas com pouco capital de giro, têm maior capacidade de se manter no mercado. Esta pesquisa buscou identificar as dificuldades enfrentadas por micro e pequenos empreendedores de Teresina-PI na gestão de seus estoques. Para a coleta de dados, foi aplicado um questionário objetivo direcionado a gestores e colaboradores, com o propósito de avaliar a prática da gestão de estoques e as dificuldades associadas. O objetivo geral foi analisar a importância da gestão de estoques e suas técnicas para a redução de custos e otimização do tempo de movimentação. Os objetivos específicos incluíram: descrever a importância da gestão de estoques; identificar as principais metodologias aplicadas; e explorar o impacto da gestão de estoques na redução de custos e do tempo de movimentação. Os resultados indicaram que, embora algumas técnicas de gestão de estoques já sejam aplicadas em pequenas

empresas de Teresina-PI, elas ainda são utilizadas de maneira não sistemática, sugerindo uma ampla margem para melhorias. A adoção de técnicas avançadas, como a análise ABC e o Just-in-Time, e o uso de tecnologias apropriadas, pode proporcionar melhorias significativas na eficiência operacional e na redução de custos dessas empresas.

Palavras-chave: Desafios. Gestão de Estoques. Micro e pequenas empresas.

ABSTRACT

Inventory management is a highly relevant topic for large organizations but remains underutilized by micro and small enterprises. In an increasingly competitive environment, better-prepared and organized companies, especially those with limited working capital, are more likely to remain in the market. This research aimed to identify the challenges faced by micro and small entrepreneurs in Teresina-PI in managing their inventories. Data were collected through an objective questionnaire directed at managers and employees to assess inventory management practices and associated difficulties. The general objective was to analyze the

importance of inventory management and its techniques for cost reduction and optimization of movement time. The specific objectives included: describing the importance of inventory management; identifying the main methodologies applied; and exploring the impact of inventory management on cost reduction and movement time optimization. The results indicated that while some inventory management techniques are already being applied in small businesses in

Teresina-PI, they are still used in a non-systematic manner, suggesting significant room for improvement. The adoption of advanced techniques, such as ABC analysis and Just-in-Time, along with the use of appropriate technologies, can lead to significant improvements in operational efficiency and cost reduction for these companies.

Keywords: Challenges. Inventory Management. Micro and Small Enterprises.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de estoques é crucial para a boa administração de uma empresa, permitindo a redução de despesas e garantindo a disponibilidade dos materiais necessários quando são requisitados. No entanto, apesar da importância desse tema, muitas empresas ainda não percebem a necessidade de implantar corretamente técnicas de gestão de estoques para determinar quando e quanto comprar, visando se tornarem mais competitivas e sustentáveis no mercado.

Grande parte das empresas brasileiras enfrenta essa realidade, seja pela falta de metodologias adaptadas ao seu porte, pela ausência de setores específicos para essa função ou pelo desconhecimento das metodologias de gestão de estoques existentes. Para sobreviver em um mercado cada vez mais competitivo, é essencial que as organizações gerenciem seus recursos da melhor maneira, com foco especial na gestão de estoques.

A gestão de estoques é um elemento imprescindível na agenda dos administradores (BERTAGLIA, 2016). Para micro e pequenas empresas, que desempenham um papel significativo no comércio do país, essa necessidade é ainda mais crítica. A gestão de estoques permite analisar os produtos consumidos e suas sazonalidades de vendas, auxiliar na escolha do local ideal para armazenamento e apoiar as decisões da área comercial da empresa. Um controle eficaz de estoques evita perdas de vendas devido a baixos níveis de produtos e reduz os altos custos associados à falta de estoque.

O excesso de estoque representa custos operacionais elevados e perda de oportunidades de capital que poderiam ser investidos em outras áreas. Uma gestão de estoque eficiente permite vendas rápidas, distribuição ágil de produtos e retorno financeiro em prazos curtos. Além disso, um bom sistema de estoque deve oferecer análises fáceis de compreender e dados precisos, possibilitando a determinação do estoque ideal para a organização. Isso proporciona ao gestor um controle mais eficaz sobre os preços de vendas e

compras com fornecedores, e garante que o contato com fornecedores seja programado para evitar erros de ambas as partes.

Desde a década de 1980, com as mudanças no ambiente de negócios, percebe-se que as Micro e Pequenas Empresas (MPEs) enfrentam condições particulares em sua administração. Elas são pequenas demais para utilizar as ferramentas de gestão e os recursos disponíveis para grandes empresas estabelecidas (DRUCKER, 1981; LEONE, 1999). A presença de estudos científicos sobre as MPEs brasileiras ainda é baixa (SILVA e PITASSI, 2013), evidenciando a importância de ampliar a pesquisa científica sobre esse tipo de empresa.

Este artigo, baseado em uma pesquisa descritiva, analisou um estudo de caso em uma pequena empresa de Teresina-PI. Utilizando técnicas de coleta de dados como a pesquisa documental e a observação direta dos ambientes e instalações, os dados foram organizados em planilhas Excel. Além disso, foi realizado um estudo bibliográfico para fornecer sustentação teórica à pesquisa.

A coleta de dados identificou a percepção dos gestores e colaboradores sobre seus estoques, revelando que a falta de conhecimentos técnicos e de uma área específica para essa função são os principais desafios para a gestão de estoques em MPEs. Assim, o objetivo deste trabalho foi responder à seguinte questão: quais são os principais desafios para o gerenciamento de estoques em micro e pequenas empresas? O estudo buscou compreender como a gestão de estoques contribui para a redução de custos e tempo em uma organização. Todas as questões éticas foram respeitadas, garantindo a referência adequada aos autores consultados e o sigilo das informações sensíveis da organização pesquisada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A gestão de estoque é um processo crucial para o sucesso de qualquer empresa, independentemente de seu porte ou segmento de atuação. Envolvendo o planejamento, organização e controle dos produtos armazenados, desde a entrada no armazém até a sua venda ou distribuição final, a gestão eficiente de estoques garante a disponibilidade dos produtos certos no momento certo. Isso minimiza custos, otimiza o fluxo de caixa e aumenta a competitividade da empresa (GOMES, 2023).

Dada a sua natureza vasta e multidisciplinar, a gestão de estoques é fundamentada em diversas teorias e práticas estabelecidas na literatura. Entre as teorias mais comuns, destacam-se o Just-in-Time (JIT), a Teoria das Restrições (TOC) e o Modelo EOQ (Economic

Order Quantity). Cada uma dessas abordagens oferece perspectivas únicas sobre como gerenciar estoques de maneira eficaz, adaptando-se às necessidades específicas das empresas.

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma base teórica sólida sobre gestão de estoques, abordando os principais métodos utilizados no processo e sua aplicação em micro e pequenas empresas. A compreensão dessas teorias e práticas é essencial para desenvolver estratégias de gestão de estoques que não apenas atendam às demandas operacionais, mas também contribuam para a sustentabilidade e crescimento das empresas no mercado competitivo.

2.1. GESTÃO DE ESTOQUES

Segundo Ching (2010), a definição de gestão de estoques revela seus objetivos fundamentais: planejar o estoque, controlar as quantidades de materiais que entram e saem, determinar as épocas dessas movimentações, gerir o tempo entre essas ocorrências e estabelecer pontos de pedido de materiais. Um planejamento eficaz de estoques minimiza imprevistos e facilita o controle das quantidades movimentadas. “O gerenciamento de estoque é um ramo da administração de empresas relacionado ao planejamento e controle de estoques de materiais ou produtos que serão utilizados na produção ou na comercialização de bens e serviços” (BERTAGLIA, 2006, p. 330).

A gestão de estoques é essencial na cadeia de suprimentos, impactando diretamente a eficiência operacional e a satisfação do cliente. Uma gestão eficiente de estoques reduz os custos de manutenção, evita rupturas e melhora a utilização de capital. Empresas que implementam práticas eficazes de gestão de estoques equilibram a oferta e a demanda com maior precisão, otimizando recursos e aumentando a competitividade no mercado (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

Sistemas de gestão de estoques, como ERP (Enterprise Resource Planning) e WMS (Warehouse Management Systems), são cruciais para um controle preciso e eficiente. Esses sistemas permitem monitoramento em tempo real dos níveis de estoque, automação de processos de reposição e análise de dados históricos para melhorar a tomada de decisões. A adoção de tecnologia na gestão de estoques reduz significativamente erros humanos e melhora a precisão das operações (FERNANDES; PEREIRA, 2020).

A análise ABC é uma técnica utilizada para categorizar itens de estoque com base em seu valor e importância relativa. Itens da categoria A representam uma pequena porcentagem do total de itens, mas uma grande parte do valor total do estoque. A implementação da análise ABC permite que as empresas priorizem os itens mais críticos e aloque seus recursos de forma mais eficiente, melhorando a gestão de estoques e reduzindo custos (MARTINS; ALMEIDA, 2021).

Uma gestão de estoques eficaz impacta diretamente a satisfação do cliente, garantindo a disponibilidade dos produtos certos no momento certo. A falta de produtos pode resultar em perda de vendas e insatisfação do cliente, enquanto o excesso de estoque leva a custos desnecessários. A adoção de práticas avançadas de gestão de estoques ajuda as empresas a equilibrar esses fatores, melhorando a disponibilidade de produtos e a eficiência operacional (GOMES; SANTOS, 2019).

2.2. PRINCIPAIS METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA A GESTÃO DE ESTOQUES

A metodologia Just-In-Time (JIT) é amplamente reconhecida por sua eficácia em minimizar os níveis de estoque e reduzir os custos operacionais, promovendo um fluxo contínuo de materiais conforme a demanda. O JIT evita o acúmulo de estoque desnecessário, o que pode representar custos adicionais de armazenamento e riscos de obsolescência. Além disso, a redução dos níveis de estoque libera capital que pode ser utilizado em outras áreas do negócio, potencializando o retorno sobre o investimento (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

A curva ABC é uma técnica utilizada para categorizar itens de estoque com base em seu valor e importância relativa. Itens da categoria A representam uma pequena porcentagem do total de itens, mas uma grande parte do valor total do estoque. A implementação da análise ABC permite que as empresas priorizem os itens mais críticos e aloque seus recursos de forma mais eficiente, melhorando a gestão de estoques e reduzindo custos (MARTINS; ALMEIDA, 2021).

O fluxo contínuo de material visa a movimentação constante e suave de produtos ao longo do processo de produção, reduzindo tempos de espera e otimizando a eficiência operacional. Esse método está alinhado com os princípios do leanmanufacturing, onde a minimização de desperdícios e a melhoria contínua são objetivos centrais (FERNANDES; SANTOS, 2019).

O fluxo sincronizado de material envolve a coordenação precisa entre a demanda e o fornecimento, garantindo que os materiais cheguem exatamente quando necessários no processo produtivo. Essa abordagem aumenta a eficiência e reduz os níveis de estoque, além de melhorar a flexibilidade e a capacidade de resposta da cadeia de suprimentos (Pereira; Souza, 2020).

O método do lote econômico (EOQ) é utilizado para determinar a quantidade ideal de pedido que minimiza os custos totais de aquisição e armazenamento. A aplicação do EOQ ajuda as empresas a equilibrar os custos de manter estoque versus os custos de fazer pedidos frequentes, resultando em uma gestão de estoque mais eficiente (ALMEIDA; COSTA, 2022).

O sistema PEPS (Primeiro que Entra, Primeiro que sai) e o sistema UEPS (Último que Entra, Primeiro que sai) são estratégias de controle de inventário que determinam a ordem de saída dos produtos. O PEPS é especialmente útil para produtos perecíveis, garantindo que os itens mais antigos sejam utilizados primeiro, enquanto o UEPS pode ser vantajoso em cenários onde os preços de aquisição aumentam, pois ajuda a minimizar os impostos sobre o lucro (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

Manter um estoque de segurança adequado é crucial para mitigar os riscos de rupturas de estoque e garantir a continuidade das operações, especialmente em cadeias de suprimentos voláteis. O estoque de segurança atua como uma almofada contra incertezas na demanda e atrasos no fornecimento, garantindo que a empresa possa continuar operando sem interrupções significativas (ALMEIDA; COSTA, 2022).

2.3. TIPOS DE ESTOQUES

Estoque de matérias-primas; Estoque de material semiacabado (produto em processo); Estoque de produtos acabados; Estoque em trânsito ou estoque no canal de distribuição; Estoque de flutuação ou estoque de segurança; Estoque de antecipação; Estoque por tamanho de lote ou estoque de ciclo.

Os estoques de matérias-primas são essenciais para garantir que as operações de produção não sejam interrompidas. A manutenção adequada desses estoques permite que as empresas respondam rapidamente às variações na demanda e evitem paralisações na produção. A gestão eficiente das matérias-primas envolve a determinação precisa dos níveis de estoque necessários, considerando fatores como tempos de reposição e variações na qualidade dos fornecedores (CARVALHO; LIMA, 2021).

O estoque de produtos em processo é composto por itens que estão em diferentes estágios de produção, ainda não finalizados. A gestão desses estoques é crítica para a eficiência operacional, pois altos níveis de produtos em processo podem indicar gargalos na produção. O monitoramento contínuo e a otimização do fluxo de trabalho são essenciais para minimizar o tempo de ciclo e os custos associados a esses estoques (FERNANDES; PEREIRA, 2020).

Os estoques de produtos acabados são aqueles que já passaram por todo o processo de produção e estão prontos para venda. A gestão eficaz desses estoques é vital para atender à demanda do cliente sem atrasos. Manter um equilíbrio entre excesso e falta de produtos acabados é crucial para minimizar custos de armazenamento e evitar perdas por obsolescência (SILVA; RODRIGUES, 2022).

O estoque de segurança é mantido para proteger contra incertezas na demanda e atrasos no fornecimento. Este tipo de estoque atua como uma almofada para evitar rupturas de estoque que poderiam afetar negativamente as operações e a satisfação do cliente. A definição do nível adequado de estoque de segurança é um equilíbrio delicado que considera fatores como variabilidade da demanda e lead time dos fornecedores" (MARTINS; ALMEIDA, 2021).

O estoque de ciclo refere-se à quantidade de produtos que uma empresa planeja usar durante um determinado período de produção. Este tipo de estoque é crucial para operações contínuas e eficientes, pois permite que as empresas produzam em lotes econômicos, reduzindo os custos de setup e otimizando os processos de produção (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2020).

Os estoques de antecipação são mantidos para atender à demanda futura esperada que é maior do que a capacidade de produção normal. Este tipo de estoque é frequentemente usado em indústrias sazonais, onde a demanda pode aumentar significativamente durante certos períodos do ano. A gestão desses estoques envolve previsões precisas e planejamento para evitar excesso de estoque ou rupturas" (GOMES; SANTOS, 2019).

2.4. GESTÃO DE ESTOQUES EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS

As micro e pequenas empresas (MPes) têm grande relevância econômica e social no Brasil. Segundo Dolabela (1999), a nova organização da produção mundial coloca essas empresas no centro, devido às suas contribuições significativas em termos de emprego,

inovação tecnológica, participação no PIB e exportações. Ele argumenta que, nas MPEs, as decisões podem ser tomadas mais rapidamente e os investimentos necessários são proporcionalmente menores.

Essas empresas enfrentam desafios específicos na gestão de estoques devido a recursos limitados e processos menos estruturados. A falta de sistemas de gestão integrados e conhecimentos especializados pode dificultar a tomada de decisões eficazes sobre estoques. Estratégias adaptadas e ferramentas simplificadas são essenciais para garantir uma gestão eficiente de estoques nas MPEs (Santos; Almeida, 2020).

A gestão eficaz de estoques é fundamental para o sucesso das MPEs, pois afeta diretamente sua capacidade de atender às demandas dos clientes e competir no mercado. Estoques bem gerenciados permitem que essas empresas evitem perdas por obsolescência, reduzam custos de armazenamento e melhorem o fluxo de caixa. Para esse contexto, estratégias simples e práticas são necessárias para garantir uma gestão eficiente de estoques (OLIVEIRA; SILVA, 2021).

A adoção de tecnologia na gestão de estoques pode ser um diferencial significativo para as MPEs, melhorando a eficiência e precisão das operações. Ferramentas como sistemas de gestão de estoques baseados na nuvem e aplicativos móveis simplificam o controle e o monitoramento de estoques, facilitando a tomada de decisões e reduzindo erros (SILVA; SANTOS, 2020).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada como sendo de abordagem qualitativa, do tipo descritiva, por meio de estudo de caso em uma pequena empresa de Teresina-PI. Fazendo-se uso das técnicas de coleta de dados de observação direta dos ambientes e instalações e pesquisa documental. Os dados coletados foram organizados via Excel. Além disso, realizou-se um estudo bibliográfico para fornecer sustentação teórica à pesquisa. Durante a coleta de dados identificou-se a percepção dos gestores e colaboradores sobre seus estoques, revelando que a falta de conhecimentos técnicos e de uma área específica para essa função são os principais desafios para a gestão de estoques em MPEs. Todas as questões éticas foram respeitadas, garantindo a referência adequada aos autores consultados e o sigilo das informações sensíveis da organização pesquisada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa documental realizada na pequena empresa de Teresina-PI revelou que a organização já aplica algumas técnicas de gestão de estoques, embora de maneira não sistematizada. Foram identificados métodos básicos, como controle de entradas e saídas de mercadorias e a realização de inventários periódicos. No entanto, faltava a aplicação de técnicas mais avançadas, como a análise ABC e o Just-in-Time, que poderiam otimizar ainda mais a gestão dos estoques.

A análise dos dados coletados foi realizada utilizando o Excel, o que permitiu uma visualização clara das práticas atuais e dos gaps existentes na gestão de estoques da empresa. Os resultados mostraram que, apesar de a empresa conseguir manter um controle razoável de seus estoques, há uma margem significativa para melhorias que poderiam resultar em maior eficiência e redução de custos. Por exemplo, a análise ABC poderia ajudar a empresa a identificar os itens de maior valor e importância, permitindo um foco mais estratégico na gestão desses produtos. A implementação de um sistema Just-in-Time poderia reduzir a necessidade de manter altos níveis de estoque, diminuindo os custos de armazenamento.

Os dados coletados e analisados indicaram que a empresa frequentemente enfrenta problemas de excesso de estoque ou falta de itens críticos, resultando em custos adicionais e atrasos nos processos. A análise ABC permitiria classificar os itens de estoque de acordo com sua importância, ajudando a focar a gestão nos produtos que realmente impactam os custos e a eficiência operacional. Além disso, o sistema Just-in-Time poderia reduzir a necessidade de manter altos níveis de estoque, minimizando os custos de armazenamento e os riscos de obsolescência.

Os resultados confirmam a importância da gestão de estoques para a redução de custos e a otimização do tempo de processo em uma organização. A pesquisa bibliográfica mostrou que diversas técnicas de gestão de estoques, quando bem implementadas, podem trazer benefícios significativos para as empresas. O estudo de caso na pequena empresa de Teresina-PI revelou que, mesmo com práticas básicas de gestão de estoques, já é possível obter algum nível de controle e eficiência. No entanto, a aplicação de técnicas mais sofisticadas pode potencializar esses benefícios.

A combinação de abordagens qualitativas e quantitativas foi crucial para uma compreensão abrangente do problema. Enquanto a pesquisa qualitativa forneceu insights

sobre as práticas atuais e as percepções dos gestores, a pesquisa quantitativa permitiu medir o impacto dessas práticas em termos de custos e eficiência. Conforme mencionado por Minayo (2001) e Richardson (1999), a integração de ambas as abordagens permite uma análise mais completa e robusta.

A pesquisa destacou a importância da capacitação dos gestores e funcionários na aplicação de novas técnicas de gestão de estoques. Sem o conhecimento adequado, a implementação de novas práticas pode ser ineficaz ou até contraproducente. Investir em treinamento e desenvolvimento é essencial para garantir que a equipe esteja preparada para adotar e manter as novas práticas.

Além disso, a adoção de tecnologias de gestão de estoques, como sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), pode proporcionar uma visibilidade maior e mais precisa dos níveis de estoque, melhorando a tomada de decisões. Esses sistemas integram diversas funções da empresa, facilitando a coordenação e o controle das operações de estoque.

A análise de dados mostrou que a empresa poderia reduzir significativamente seus custos operacionais e melhorar sua eficiência através da adoção de práticas de gestão de estoques mais sofisticadas. A análise ABC, por exemplo, ajudaria a empresa a identificar e focar nos itens de maior valor e importância, enquanto o sistema Just-in-Time reduziria a necessidade de manter altos níveis de estoque.

A pesquisa mista, envolvendo uma revisão bibliográfica e um estudo de caso, demonstrou que a gestão de estoques é uma ferramenta poderosa para a redução de custos e otimização de processos em pequenas empresas. A análise documental na empresa de Teresina-PI evidenciou a necessidade de implementar técnicas mais avançadas para maximizar os benefícios. Com base nos resultados, recomenda-se que a empresa invista na capacitação dos gestores e na adoção de sistemas de gestão de estoques mais sofisticados, como a análise ABC e o Just-in-Time, para melhorar ainda mais sua eficiência operacional.

A revisão bibliográfica proporcionou uma compreensão teórica abrangente sobre as técnicas e benefícios da gestão de estoques, enquanto o estudo de caso permitiu verificar a aplicação prática dessas técnicas em uma pequena empresa. A combinação dessas abordagens foi essencial para obter uma visão completa e detalhada do problema e das possíveis soluções.

Os resultados obtidos demonstram claramente que a gestão eficaz de estoques desempenha um papel crucial na redução de custos e na otimização dos tempos operacionais

dentro de uma organização. A integração de técnicas avançadas, quando combinada com a capacitação contínua dos gestores e o emprego de tecnologias inovadoras, eleva a gestão de estoques de uma mera prática administrativa a uma poderosa ferramenta estratégica. Essa transformação não apenas potencializa a eficiência operacional, mas também posiciona a empresa de maneira mais competitiva no mercado, permitindo-lhe responder de forma mais ágil e assertiva às demandas e variações do mercado. Dessa forma, a gestão de estoques deixa de ser apenas uma necessidade operacional e se torna um diferencial competitivo essencial para o sucesso sustentável da organização.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa reforça a importância da gestão de estoques como um elemento essencial para a eficiência operacional e a redução de custos em pequenas empresas. Os métodos explorados e os dados analisados indicam claramente que uma abordagem sistemática e estratégica na gestão de estoques pode trazer benefícios significativos. A implementação de técnicas avançadas, como a análise ABC e o Just-in-Time, combinada com o uso de tecnologias adequadas, tem o potencial de transformar a gestão de estoques em uma ferramenta poderosa para a competitividade empresarial.

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que, embora muitas pequenas empresas adotem práticas básicas de gestão de estoques, há uma margem significativa para melhorias. A aplicação de técnicas mais sofisticadas pode não apenas otimizar a gestão dos estoques, mas também liberar capital, reduzir custos de armazenamento e minimizar riscos de obsolescência de produtos.

Para validar e expandir os achados desta pesquisa, é recomendável que futuras investigações se concentrem em avaliar a existência e a eficácia dos programas de gestão de estoques aplicados nas empresas. Realizar pesquisas de satisfação pode fornecer insights valiosos sobre como a gestão de estoques impacta a satisfação dos clientes e dos funcionários. Além disso, a aplicação da análise SWOT (Pontos Fortes, Pontos Fracos, Oportunidades e Ameaças) pode ajudar a identificar e mitigar os desafios e explorar novas oportunidades para melhorar ainda mais a gestão de estoques.

Em resumo, a adoção de uma gestão de estoques mais estruturada e tecnológica pode ser um diferencial competitivo significativo para pequenas empresas. Investir na capacitação dos gestores, implementar técnicas avançadas e utilizar ferramentas de análise adequadas

são passos fundamentais para alcançar uma gestão de estoques eficiente, resultando em maior eficiência operacional, redução de custos e melhor atendimento às demandas do mercado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. A.; Costa, E. S. Safety Stock: Mitigating Supply Chain Risks. *Logistics and Supply Chain Management Journal*, 40(1), 34-49, 2022.
- BERTAGLIA, Paulo Roberto. *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. São Paulo: Saraiva, 2016.
- BOGDAN, R. S.; BIKEN, S. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. 12. ed. Porto: Porto, 2003.
- CARVALHO, R. T.; Lima, F. S. Raw Materials Inventory Management: Ensuring Continuity in Production. *Journal of Supply Chain Management*, 29(3), 55-72, 2021.
- CHING, Hong Yuh. *Gestão de estoques na cadeia de logística integrada – Supply chain*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- FERNANDES, A. L.; Pereira, J. M. Work-in-Process Inventory: Optimization for Operational Efficiency. *International Journal of Production Economics*, 45(4), 215-230, 2020.
- FERNANDES, C. M.; Santos, R. T. Continuous Replenishment: Aligning Inventory with Customer Demand. *Supply Chain Management Review*, 22(3), 112-126, 2019.
- FONSECA, João José Saraiva. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002.
- GOMES, C. M., & Santos, R. T. Anticipation Inventory: Planning for Seasonal Demand. *Journal of Operations and Production Management*, 38(5), 321-338, 2019.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. *Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GOMES, Bruno Richard Alves da Silva. *Gestão de recursos materiais: um enfoque no planejamento e controle de estoque de uma empresa varejista no município de João Pessoa*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MARTINS, G. L.; Almeida, T. A. Safety Stock Management: Strategies for Risk Mitigation. *Logistics and Supply Chain Management Journal*, 41(2), 123-140, 2021.
- MINAYO, M. C. S. (org.). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2018.

- NASCIMENTO, F. J.; Oliveira, L. F. Cycle Stock: Optimization for Continuous Production. *International Journal of Inventory Research*, 10(3), 188-205, 2020.
- OLIVEIRA, M. F.; Silva, A. L. Inventory Management in Micro and Small Enterprises: Key Strategies for Success. *Journal of Small Business Management*, 20(3), 45-60, 2021.
- PEREIRA, J. S.; Souza, A. P. Material Requirements Planning: Ensuring Availability in Complex Manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(4), 789-805, 2020.
- RIBEIRO, R. E. M.; MONTEIRO, L. F. S. *Gestão de Pequenos Negócios na Prática. – 1ª Edição. –* Teresina: Kindle Direct Publishing, 2022. 125p. ISBN: 9798449127358. Disponível em: <https://unifsa.com.br/site/docente-e-egresso-de-administracao-unifsa-publicam-livro-sobre-gestao-de-pequenos-negocios/>
- SANTOS, R. T.; Almeida, T. A. Challenges of Inventory Management in Micro and Small Enterprises. *Small Business Management Journal*, 15(2), 78-92, 2020.
- SILVA, Juarez Nuno da; PITASSI, Cláudio. Práticas logísticas nas pequenas e médias empresas brasileiras. *Revista ADM MADE*. RJ, v.17, n.2, p.29-48. 2013.
- SILVA, M. R.; Rodrigues, L. A. Finished Goods Inventory: Balancing Supply and Demand. *Journal of Business Logistics*, 33(1), 87-104, 2022.
- SILVA, M. R.; Oliveira, L. F. Just-In-Time in Inventory Management: Reducing Costs and Improving Efficiency. *Journal of Operations Management*, 34(2), 45-60, 2021.
- SILVA, A. L.; Santos, R. T. Technology in Inventory Management for Micro and Small Enterprises. *Journal of Small Business Technology*, 8(2), 112-126, 2020.

CAPÍTULO XXVII

DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL: ANÁLISE SWOT E 5W2H PARA DIRECIONAMENTO DE AÇÕES EM UM POSTO DE GASOLINA¹

ORGANIZATIONAL DIAGNOSIS: SWOT AND 5W2H ANALYSIS FOR DIRECTING ACTIONS AT A GASOLINE STATION

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-27

Vitória Cruz Sousa Silva ¹

Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²

Antonio Gomes Sales Filho ³

Amélia Acácia de Miranda Batista ⁴

Eldelita Aguida Porfírio Franco ⁵

Gilberto de Araújo Costa ⁶

¹ Graduanda em Engenharia de Produção no Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

² Mestre em Administração - UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

³ Mestre em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁴ Mestra em Engenharia da Eletricidade com ênfase na Ciência da Computação – UFMA. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁵ Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁶ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

RESUMO

O diagnóstico organizacional é uma ferramenta da gestão adotada pelas organizações para o estabelecimento de direções a serem seguidas pela empresa e seus colaboradores. O uso de estratégias são de extrema importância para o aumento da competitividade no ambiente empresarial. Este artigo tem como objetivo identificar e analisar os fatores que influenciam o processo de planejamento de uma empresa de posto de gasolina em uma cidade de Teresina estado do Piauí. Desta forma, foi realizado um estudo de caso utilizando as ferramentas SWOT e 5W2H na identificação e resolução dos entraves que afetam os resultados da organização. Após o estudo, foi constatado que a empresa possui dificuldades na elaboração do planejamento, necessitando realizar um plano de ação para elevar o padrão de qualidade e produtividade dos produtos e serviços.

Palavras-chave: Consultoria. Diagnóstico Organizacional. Matriz SWOT. 5W2H.

ABSTRACT

Organizational diagnosis is a management tool adopted by organizations to establish directions to be followed by the company and its employees. The use of strategies is extremely important for increasing competitiveness in the business environment. This article aims to identify and analyze the factors that influence the planning process of a gas station company in a city of Teresina, state of Piauí. In this way, a case study was carried out using the SWOT and 5W2H tools to identify and resolve the obstacles that affect the organization's results. After the study, it was found that the company has difficulties in preparing planning, needing to carry out an action plan to raise the standard of quality and productivity of products and services.

Keywords: Consultancy. Organizational Diagnosis. SWOT Matrix. 5W2H.

¹ A primeira versão do artigo foi originalmente aceita para publicação nos anais do I Simpósio Regional de Engenharia (SIMPREIT) realizado de 01 a 03 de agosto de 2024. Disponível em: <https://zenodo.org/records/11821879>. O mesmo foi atualizado e agora publicado como capítulo de livro.

1. INTRODUÇÃO

Definem o diagnóstico organizacional como um processo meticuloso que visa desvendar os mecanismos internos de uma empresa com o objetivo de impulsionar mudanças e aperfeiçoamento. Mais do que uma mera análise, o diagnóstico se configura como uma ferramenta estratégica para a mudança, focada na otimização do desempenho organizacional (Cecin et al., 2022).

O planejamento estratégico é a base fundamental para o sucesso das organizações. Através de sua aplicação e desenvolvimento adequados, as empresas conquistam vantagem competitiva, superando seus concorrentes em desempenho e geração de valor. Nesse contexto, a matriz SWOT se destaca como ferramenta estratégica essencial para alcançar essa vantagem. A matriz SWOT proporciona uma visão sistêmica da organização, mapeando seus pontos fortes e fracos, as oportunidades e ameaças do ambiente em que atua. Essa análise aprofundada auxilia na tomada de decisões estratégicas eficientes, com foco em neutralizar fraquezas e ameaças e maximizar forças e oportunidades (Silva, 2022).

Portanto, o objetivo do diagnóstico organizacional é compreender a estrutura e o funcionamento de uma organização com o propósito de modificá-la e melhorá-la. Trata-se de uma análise específica focada na implementação de mudanças para aprimorar o desempenho organizacional. Quando são necessárias mudanças fundamentais nos padrões de comportamento, a urgência em encontrar maneiras de romper esses padrões enraizados se intensifica. O diagnóstico pode servir como uma ferramenta para superar a passividade organizacional, aumentando a capacidade de avaliar e transformar a cultura da organização. Ele oferece aos executivos a oportunidade de adquirir novos conhecimentos sobre aspectos disfuncionais e padrões de comportamento, o que é essencial para o desenvolvimento de uma organização mais eficaz. Quando o diagnóstico proporciona essas oportunidades, torna-se um passo indispensável no processo de revitalização (Cecin et al., 2022).

Para elevar a qualidade das decisões, as empresas frequentemente recorrem a metodologias como a análise SWOT e a ferramenta 5W2H (O que, Quem, Onde, Quando, Por quê, Como, Quanto custa). Essas abordagens são cruciais para o planejamento estratégico, ajudando a identificar soluções para problemas, otimizar o uso de recursos e aperfeiçoar processos. Devido à sua natureza adaptável, essas metodologias encontram aplicações em inúmeros setores, contribuindo para uma gestão mais eficiente e eficaz. (Cruz et al., 2017).

Diante do exposto, o presente estudo identificou e analisou os principais entraves enfrentados por uma empresa de posto de gasolina na implementação de seu plano estratégico. Utilizando as ferramentas SWOT e 5W2H, a pesquisa visou compreender os principais fatores que interferem nas atividades da empresa, bem como destacar a importância do planejamento estratégico dentro dessa organização.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa está caracterizada como sendo do tipo descritiva e analítica, de abordagem qualitativa, com perspectiva temporal transversal, fazendo uso da estratégia de estudo de caso único, usando como técnica de coleta de dados a observação direta e a pesquisa documental de dados públicos primários e secundários, submetendo os dados e informações coletadas à análise de conteúdo, culminando na apresentação dos resultados de forma organizada em quadros, tabelas e esquemas representativos que auxiliem na compreensão dos achados (Bardin, 2009; Creswell; Creswell, 2021; Takahashi, 2013; Yin, 2005).

A pesquisa foi desenvolvida por meio de estudo de caso de um posto de gasolina. Para isso, foi submetido à análise de documentos utilizados na consultoria com dados primários e secundários sobre a empresa, seus parceiros e sua atuação (documentos elaborados, informações disponíveis nas redes sociais, relatórios gerenciais, notícias públicas, etc) e informações obtidas via observação direta da empresa (vídeos, fotos, etc).

A técnica de análise de dados foi a análise de conteúdo e, para isso, os dados foram organizados, tabulados e categorizados de maneira que se possam realizar inferências e descrever os achados, bem como alcançar os objetivos propostos. Também foram construídos quadros e/ou tabelas que se fizerem necessários para apresentação das análises dos documentos e observações coletadas (Bardin, 2009).

Não se fez necessário o estabelecimento de amostragem, mas somente orientação clara sobre os procedimentos durante a observação direta e de coleta dos documentos e dados públicos primários e secundários que serão utilizadas para o alcance dos objetivos estabelecidos na pesquisa, bem como direcionar as análises que serão realizadas com viés técnico e científico. Os critérios de inclusão e exclusão atenderam ao estabelecido no protocolo de pesquisa e foram consideradas apenas informações disponíveis de forma pública referentes aos anos de 2022, 2023 e 2024.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CONSULTORIA EMPRESARIAL

A prática da consultoria não é algo recente, remontando aos primórdios da história, onde líderes como reis, imperadores e monarcas buscavam orientações de sábios e filósofos. Atualmente, o Brasil destaca-se como um dos países em franco crescimento no campo das consultorias. Isso se deve ao reconhecimento da consultoria como uma eficaz abordagem na resolução de problemas e na gestão ágil das mudanças, abandonando-se assim o conhecimento puramente empírico em favor de ferramentas práticas e técnicas administrativas. É fundamental considerar as particularidades de cada empresa ao aplicar serviços de consultoria, adaptando-os de acordo com os problemas diagnosticados. Pacotes de soluções pré-fabricadas podem não ser adequados, uma vez que uma mesma ferramenta pode não servir para resolver problemas distintos (Mota; Monteiro; Nascimento, 2019).

Consultoria empresarial é uma prática que se estabeleceu como um recurso valioso para organizações em todo o mundo. Ela envolve a prestação de serviços por profissionais experientes e especializados, cujo conhecimento abrange uma ampla gama de áreas relevantes para o sucesso empresarial. Peter Drucker, renomado guru da administração, destacou que "a consultoria é uma oportunidade de aprender e explorar, não uma fórmula pronta para aplicar" (Alves; Dias; Monsores, 2015).

Nesse contexto, a consultoria empresarial vai além de oferecer soluções pré-fabricadas; trata-se de um processo dinâmico e colaborativo. Ela se inicia com uma profunda compreensão dos desafios e oportunidades enfrentados pela organização cliente. Essa compreensão é alcançada por meio de análises detalhadas, entrevistas com stakeholders e avaliações criteriosas da situação atual da empresa (Alves; Dias; Monsores, 2015).

A consultoria é um serviço prestado por profissionais que oferecem seu conhecimento para auxiliar outras empresas. Especialmente para pequenas empresas com limitado conhecimento, a consultoria se torna extremamente valiosa, facilitando seu crescimento e sua permanência no mercado. É importante compreender que a consultoria não é apenas uma prestação de serviço unilateral pelo consultor, mas sim uma colaboração entre este profissional e o cliente. Ambos compartilham informações e orientações, visando alcançar resultados positivos. Essa interação e confiança são fundamentais para o sucesso da

consultoria, com ambas as partes trabalhando em conjunto para atingir os objetivos estabelecidos (Alves; Dias; Monsores, 2015).

3.2. DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL

Em cenários que exigem mudanças profundas nos padrões de comportamento, a necessidade de romper com as velhas práticas se torna ainda mais crucial. O diagnóstico atua como um instrumento nesse processo de ruptura, combatendo a postura defensiva que muitas vezes permeia as organizações. Ao promover a avaliação e a transformação da cultura organizacional, o diagnóstico abre caminho para que os líderes expandam seus conhecimentos sobre os aspectos disfuncionais e os padrões de comportamento arraigados na empresa. Essa base de conhecimento serve como trampolim para a construção de uma organização mais eficiente e adaptável (Cecin et al., 2022).

O diagnóstico é uma ferramenta fundamental utilizada pelos consultores, permitindo que as organizações identifiquem suas falhas, necessidades e oportunidades de melhoria no desempenho, além de reduzir as incertezas na tomada de decisões. Trata-se de um instrumento indispensável de gestão, uma técnica que oferece uma amostra situacional crucial, mesmo quando a empresa apresenta resultados satisfatórios. Os métodos de diagnóstico são práticos e adaptados às condições específicas de cada atividade profissional. Baseando-se na identificação de problemas a partir de sintomas observáveis, o diagnóstico busca fornecer uma análise abrangente da situação. No entanto, é importante ressaltar que o processo de diagnóstico nunca resulta em uma comprovação total. Sempre há um aspecto de julgamento que envolve a intuição ou a experiência do especialista (Carvalho; Duarte, 2013).

A etapa de diagnóstico constitui a primeira fase de um projeto de consultoria, visando fornecer aos executivos informações cruciais para aprimorar os processos internos essenciais para alcançar os objetivos estratégicos da organização. Essa abordagem busca aumentar a eficiência e a eficácia na administração e execução das ações definidas na gestão estratégica. A elaboração do diagnóstico é uma parte crítica do projeto de consultoria, pois os consultores devem concentrar-se no que é mais relevante para o processo de mudança e se ater apenas aos fatos comprovados. Durante a aplicação das técnicas analíticas de diagnóstico, é comum ocorrerem interpretações influenciadas pela percepção dos envolvidos, sejam eles os executivos ou os próprios consultores (Cecin et al., 2022).

3.3. MATRIZ SWOT

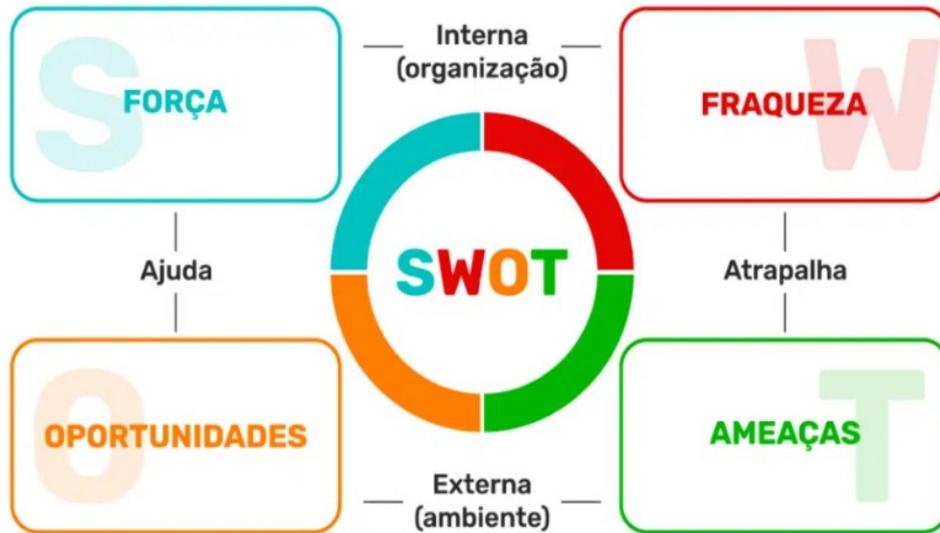
A análise SWOT é uma ferramenta de gestão poderosa, frequentemente utilizada como suporte para os gestores, principalmente no desenvolvimento do planejamento estratégico. Sua simplicidade e importância permitem que seja aplicada em diversas situações de análise de cenários. Esta análise examina os pontos fortes e fracos do ambiente interno da organização, assim como as oportunidades e ameaças do ambiente externo. Essencial para qualquer empresa, a análise SWOT proporciona uma visão clara e objetiva das condições internas e externas, permitindo que os consultores elaborem estratégias para alcançar vantagem competitiva e melhorar o desempenho organizacional (Oliveira et al., 2017).

Além disso, a análise SWOT proporciona à organização uma visão abrangente de seus aspectos, tanto positivos quanto negativos. A matriz SWOT visa examinar o contexto da organização em relação aos seus elementos internos (forças, fraquezas) e externos (oportunidades, ameaças), buscando identificar cada um desses aspectos para os membros da equipe. Essa análise é de suma importância na empresa, pois por meio dessa ferramenta os colaboradores obtêm uma percepção clara e objetiva de suas vantagens e desvantagens no ambiente interno e externo da organização. (Cruz et al., 2017).

O processo de criação da matriz SWOT começa com uma análise preliminar, levando em conta os quatro elementos cruciais para um diagnóstico estratégico efetivo:

- **Força:** representam características internas controláveis pelos colaboradores, contribuindo para a manutenção de um ambiente interno favorável na organização;
- **Fraqueza:** correspondem a características internas que podem ser controladas, porém geram desconforto para a empresa, ocasionando situações desfavoráveis no ambiente organizacional;
- **Oportunidades:** referem-se a fatores externos à organização que estão além do controle, mas, se aproveitados, podem trazer benefícios significativos para os colaboradores;
- **Ameaças:** são fatores externos que escapam ao controle dos gestores, pois dependem de elementos externos, como a concorrência, e tendem a desafiar a missão da empresa, criando ambientes adversos (Cruz et al., 2017).

Figura 1 - Matriz SWOT.



Fonte: Augusto Turcato - CRM PipeRun (2024).

3.4. FERRAMENTA DA QUALIDADE 5W2H

A ferramenta 5W2H consiste em um plano de ação que visa criar um checklist para garantir a precisão dos resultados desejados. Por meio de perguntas específicas, essa ferramenta permite desenvolver um planejamento abrangente para a tomada de decisões sobre as ações necessárias. Amplamente utilizada no mapeamento e na padronização de processos, assim como no estabelecimento de procedimentos vinculados a indicadores, essa ferramenta é fundamentalmente gerencial. Seu objetivo é garantir um entendimento claro ao definir responsabilidades, métodos, prazos, metas e recursos associados (Silva; Trombine; Correa, 2019).

Figura 2 - Ferramenta 5W2H.

| 5W | | | | | 2H | | STATUS |
|---|--|------------------|--|--|---|---|--------|
| WHAT (O QUE) | WHY (POR QUE) | WHERE (ONDE) | WHO (QUEM) | WHEN (QUANDO) | HOW (COMO) | HOW MUCH (QUANTO CUSTA) | |
| O QUE SERÁ FEITO? QUAL É O SEU OBJETIVO? COMO DESCREVER O MELHOR QUE PODE OBTER NESTA SITUAÇÃO? | POR QUE SERÁ FEITO? QUAL É A RAZÃO QUE MOTIVA ESSA AÇÃO? O QUE VAI CONSEGUIR DE RETORNO? FAZ PARTE DE SUA MISSÃO? VALE A PENA? | ONDE SERÁ FEITO? | POR QUEM SERÁ FEITO? QUEM ESTÁ ENVOLVIDO OU É RESPONSÁVEL EM CADA AÇÃO? QUEM DEVE SER AVISADO? | QUANDO SERÁ FEITO? QUAIS SÃO AS PRIMEIRAS AÇÕES NECESSÁRIAS? ESSAS AÇÕES SÃO PROATIVAS OU DEPENDEM DE OUTRAS FORA DO SEU CONTROLE? | COMO SERÁ FEITO? COMO INICIAR, MENSURAR E ATIVAR AS AÇÕES NECESSÁRIAS? QUAIS SÃO AS SOLUÇÕES DE CONTINGÊNCIA, NO CASO DE ENCONTRAR OBSTÁCULOS? O QUE SINALIZARÁ QUE É O MOMENTO DE AGIR ASSIM? | QUANTO CUSTARÁ FAZER? QUANTO CUSTARÁ EM TEMPO, ESFORÇO, DINHEIRO, CONHECIMENTO, PREPARAÇÃO PSICOLÓGICA E NEGOCIAÇÃO OU MOTIVAÇÃO PESSOAL E DE GRUPO? | |

Fonte: Sebrae/SC (2023).

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O presente estudo foi realizado em uma empresa do ramo de posto de gasolina, que possui três unidades no estado do Piauí. Desse modo, os postos atendem uma parcela significativa de clientes no estado, por ter serviços diferenciados em relação aos concorrentes. Entre os serviços oferecidos estão o fornecimento de combustíveis de alta qualidade, atendimento rápido, loja de conveniência, caixa eletrônico e serviços de manutenção de veículos. Os postos contam com 35 funcionários para a realização dos serviços.

4.2. ANÁLISE DA MATRIZ SWOT

Com base nos resultados da análise, foi possível identificar os fatores que impactam o plano estratégico dos postos de gasolina, destacando os problemas que a organização precisa solucionar e os desafios que deve enfrentar para atingir seus objetivos. A análise SWOT permite à organização compreender sua posição no ambiente competitivo e seu posicionamento no mercado.

As observações realizadas no posto fornecem informações valiosas sobre seus processos e serviços, identificando os fatores que influenciam suas atividades, além de apontar os pontos fortes e fracos. Para uma abordagem mais detalhada dos resultados, os fatores foram classificados como internos e externos, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Resultado da matriz SWOT.

| | | Aspectos Positivos | | | |
|------------------|---|--|------------------|--|--|
| | | Forças | Oportunidades | | |
| Ambiente Interno | Empresa familiar com know-how de mercado; | Aumentar a quantidade de filiais pelo Piauí | Ambiente Externo | | |
| | Bom relacionamento com fornecedores; | Fidelizar ainda mais os clientes | | | |
| | Possui uma estrutura excelente para o atendimento ao cliente; | Alcançar mais prêmios de reconhecimento pela Petrobrás | | | |
| | Salários acima da média; | Criação de um centro de serviços nos postos | | | |

| | |
|---|---|
| Oportunidades internas de crescimento; | |
| Acompanhamento de compras; | |
| Vontade de melhorias. | |
| Fraquezas | Ameaças |
| Não ter uma ferramenta para avaliação de produtividade dos colaboradores; | A quantidade de postos existentes na cidade e no estado |
| Necessidade de um programa de capacitação; | A organização dos concorrentes |
| Dificuldade para supervisão da conveniência; | Aumento de carro elétricos e híbridos |
| Não ter definida a missão, visão, valores e objetivos da empresa; | |
| Demanda de melhorias no processo de admissão; | |
| Ausência de uma definição nos processos administrativos; | |
| Falta padronização entre os postos. | |
| Aspectos Negativos | |

Fonte: Aatoria própria (2024).

4.3. ANÁLISE INTERNA

4.3.1. Forças

- Empresa familiar com Know-how de mercado: o posto é gerido por uma família que possui amplo conhecimento e experiência no mercado.
- Bom relacionamento com fornecedores: a empresa mantém relações sólidas e de confiança com seus fornecedores principalmente a Petrobras.
- Possui uma estrutura excelente para atendimento ao cliente: a empresa investiu significativamente em infraestrutura, criando um ambiente agradável e eficiente para os clientes.

- Salários acima da média: os colaboradores recebem salários superiores à média do mercado.
- Oportunidades internas de crescimento: oferece oportunidade de crescimento e desenvolvimento profissional para seus colaboradores.
- Acompanhamento de compras: um rigoroso acompanhamento das compras, garantindo a qualidade dos produtos adquiridos e o controle de estoque.
- Vontade de melhoria: um forte desejo de constante melhoria em seus processos e serviços.

4.3.2. Fraqueza

- Não ter uma ferramenta para avaliação de produtividade dos colaboradores: não tem sistemas ou ferramentas de gerenciamento para medir e monitorar a produtividade dos colaboradores.
- Necessidade de um programa de capacitação: carência de treinamentos e desenvolvimentos para os funcionários.
- Dificuldade para supervisão da conveniência: falta de processos claros e uma gerência.
- Não ter definida a missão, visão, valores e objetivos da empresa: falta de direção e alinhamento entre os funcionários, impactando negativamente a coesão e a eficácia organizacional.
- Demanda de melhorias no processo de admissão: o processo de recrutamento e seleção de novos funcionários necessita de melhorias.
- Ausência de uma definição nos processos administrativos: não possui processos bem definidos.
- Falta de padronização entre os postos: falta de uniformidade e padronização entre os diferentes postos de gasolina.

4.4. ANÁLISE EXTERNA

4.4.1. Oportunidade

- Aumentar a quantidade de filiais pelo Piauí: uma oportunidade significativa para aumentar a presença no mercado, alcançar novos clientes e aumentar a receita.
- Fidelizar ainda mais os clientes: implementação de estratégias de fidelização, como programas de recompensas, descontos especiais e serviços exclusivos, pode aumentar a lealdade dos clientes atuais.

- Alcançar mais prêmios de reconhecimento pela Petrobrás: A conquista de prêmios e reconhecimentos da Petrobrás, ou de outras entidades do setor, pode aumentar a credibilidade e a reputação da empresa.
- Criação de um centro de serviços nos postos: criação de centros de serviços integrados nos postos de gasolina, oferecendo serviços adicionais como manutenção automotiva, lavagem de carros e venda de acessórios, pode atrair mais clientes e aumentar as fontes de receita.

4.4.2. Ameaças

- A quantidade de postos existentes na cidade e no estado: O grande número de postos de gasolina na cidade e no estado representa uma ameaça significativa, aumentando a competição pelo mercado local.
- A organização dos concorrentes: A estrutura organizacional e as estratégias bem definidas dos concorrentes podem colocar a empresa em desvantagem competitiva.
- Aumento de carros elétricos e híbridos: A crescente adoção de veículos elétricos e híbridos representa uma ameaça de longo prazo para o negócio tradicional de venda de combustíveis.

4.5. APLICAÇÃO DO 5W2H A PARTIR DA MATRIZ SWOT

A ferramenta 5W2H permite que a organização entenda detalhadamente como abordar e resolver cada situação problemática. Com base em sete perguntas fundamentais, essa metodologia ajuda os gestores a encontrar soluções eficazes para os desafios.

A aplicação da análise SWOT revelou fraquezas e ameaças dentro da organização, que foram então mapeadas utilizando a ferramenta 5W2H. Por outro lado, não houve necessidade de aplicar as oportunidades e forças na ferramenta, já que elas não representam obstáculos, mas sim elementos que fortalecem a sobrevivência e o crescimento da empresa.

O Quadro 1 ilustra a aplicação dos problemas identificados na organização analisada, detalhando como os colaboradores podem agir utilizando a metodologia 5W2H. Esta abordagem fornece um guia claro para a resolução de cada questão, facilitando a implementação de soluções eficazes.

Quadro 1 – Aplicação das fraquezas e ameaças da matriz SWOT.

| SW | | | | | | 2H | | |
|-------------------------|--|--|--|---|--|-------------|---|--|
| Análise interna/externa | O quê? (What) | Porque? (Why) | Onde? (Where) | Quem? (Who) | Quando (When) | Como? (How) | Quanto custa (How much) | |
| FRAQUEZA | Não ter uma ferramenta para avaliação de produtividade dos colaboradores | Implementar uma ferramenta de avaliação de produtividade dos colaboradores. | Melhorar o desempenho dos funcionários e identificar áreas de melhoria. | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Recursos Humanos e TI. | 6 meses. | Pesquisar e adquirir uma ferramenta adequada, seguida de treinamento dos funcionários. | Estimativa de custo de R\$ 20.000,00 para aquisição e treinamento. |
| | Necessidade de um programa de capacitação | Desenvolver e implementar um programa de capacitação para os colaboradores. | Aumentar a qualificação dos funcionários e melhorar a qualidade do atendimento. | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Recursos Humanos e TI. | 4 meses. | Criar um plano de treinamento e contratar especialistas para ministrar os cursos. | Estimativa de custo de R\$ 15.000,00 por ano. |
| | Dificuldade para supervisão da conveniência | Melhorar os processos de supervisão das lojas de conveniência. | Garantir a qualidade e eficiência no atendimento. | Nas lojas de conveniência de todos os postos. | Gerentes de loja | 3 meses | Implementar sistemas de monitoramento e definir processos claros de supervisão. | Estimativa de custo de R\$ 10.000,00. |
| | Não ter definida a missão, visão, valores e objetivos da empresa | Definir e comunicar a missão, visão, valores e objetivos da empresa. | Alinhar os colaboradores com os objetivos estratégicos da organização. | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Administração | 2 meses | Realizar workshops e sessões de brainstorming com a liderança. | Estimativa de custo de R\$ 5.000,00. |
| | Demanda de melhorias no processo de admissão | Otimizar o processo de admissão de novos funcionários. | Garantir a contratação de profissionais qualificados e adequados às necessidades da empresa. | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Recursos Humanos e TI. | 3 meses | Revisar e aprimorar o processo de recrutamento e seleção. | Estimativa de custo de R\$ 3.000,00. |
| | Ausência de uma definição nos processos administrativos | Definir e documentar os processos administrativos. | Aumentar a eficiência e clareza nas responsabilidades e procedimentos. | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Administração | 6 meses. | Realizar um mapeamento dos processos atuais e desenvolver manuais de procedimentos. | Estimativa de custo de R\$ 7.000,00. |
| | Falta padronização entre os postos | Implementar a padronização entre os diferentes postos de gasolina. | Garantir uma experiência consistente para os clientes e fortalecer a marca | Em todas as unidades da empresa. | Departamento de Administração e Gerente de posto | 5 meses | Desenvolver um manual de procedimentos e realizar treinamentos. | Estimativa de custo de R\$ 10.000,00. |
| AMEAÇA | A quantidade de postos existentes na cidade e no estado | Desenvolver estratégias para diferenciar a empresa dos concorrentes. | Aumentar a competitividade e atrair mais clientes. | Em todas as unidades da empresa. | Diretoria Executiva | Contínuo | Investir em marketing, melhorar os serviços e criar programas de fidelização. | Estimativa de custo de R\$ 2.000.000,00. |
| | A organização dos concorrentes | Monitorar e analisar as estratégias dos concorrentes. | Ajustar e melhorar continuamente as próprias estratégias de negócio. | Em todas as unidades da empresa. | Diretoria Executiva | Contínuo | Realizar estudos de mercado e análises SWOT periódicas. | Estimativa de custo de R\$ 5.000,00. |
| | Aumento de carros elétricos e híbridos | Adaptar a oferta de serviços para incluir opções voltadas a veículos elétricos e híbridos. | Preparar a empresa para as mudanças no mercado automotivo. | Em todas as unidades da empresa. | Diretoria Executiva/Planejamento Estratégico | 2 anos | Investir em infraestrutura para carregamento de veículos elétricos e oferecer serviços de manutenção específicos para esses veículos. | Estimativa de custo de R\$ 100.000,00. |

Fonte: Autoria própria (2024).

As ferramentas apresentadas na pesquisa indicam que a organização pode utilizar os resultados para planejar suas atividades e auxiliar na tomada de decisões dos gestores, baseando-se em informações precisas e confiáveis. A aplicação das ferramentas propostas oferece inúmeros benefícios ao posto de gasolina, como a identificação e potencialização de suas forças e oportunidades, além de propor soluções para as fraquezas e ameaças. Dessa forma, a empresa estará apta a adotar estratégias eficazes para alcançar suas metas, implementando o Planejamento Estratégico em seus processos e atividades por meio da matriz SWOT e a da ferramenta 5W2H.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstrou que o uso de ferramentas da matriz SWOT e 5W2H é fundamental para o diagnóstico organizacional e planejamento estratégico dos postos de gasolina. A aplicação dessas metodologias proporcionou uma compreensão detalhada das fraquezas e ameaças enfrentadas pela organização, além de identificar oportunidades e forças. A partir dos resultados, a empresa conseguiu desenvolver estratégias eficazes,

melhorar processos internos e otimizar a produtividade e a qualidade dos serviços. A adoção de um plano de ação estruturado, baseado em informações precisas e confiáveis, possibilitou avanços significativos no desempenho organizacional, fortalecendo a competitividade e a capacidade de adaptação no mercado.

Através dessa abordagem, a empresa pôde desenvolver um plano de ação focado na resolução dos problemas identificados, resultando em melhorias nos processos internos e na qualidade dos serviços oferecidos. As propostas futuras incluem a implementação de programas de capacitação para os colaboradores, a padronização dos processos administrativos entre os postos, e a criação de uma ferramenta para avaliação de produtividade.

Adicionalmente, a empresa planeja expandir sua presença no Piauí, fidelizar ainda mais os clientes, e criar centros de serviços nos postos. Essas iniciativas visam fortalecer a competitividade da empresa e garantir um crescimento sustentável, alinhado às demandas do mercado e às mudanças tecnológicas, como o aumento de veículos elétricos e híbridos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. da C.; DIAS, Nathália Teixeira; MONSORES, Geneci Leme. Consultoria empresarial como ferramenta estratégica de desenvolvimento em pequenas empresas. **Anais do XII Simpósio de excelência em gestão e tecnologia–SEGeT, Rezende, RJ, Brasil**, v. 12, 2015.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Edição revista e atualizada. Lisboa: Edições 70, 2009.
- CECIN, Sara et al. Framework de diagnóstico organizacional para projetos de consultoria de gestão da mudança. **Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle**, v. 11, n. 2, 2022.
- CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto** [recurso eletrônico] / John W. Creswell, J. David Creswell; tradução: Sandra Maria Mallmann da Rosa; revisão técnica: Dirceu da Silva. - 5. ed. - Porto Alegre: Penso, 2021. E-pub. ISBN 978-65-81334-19-2. (Biblioteca A)
- CRUZ, Diogenes Marco de Brito et al. Aplicação do planejamento estratégico a partir da análise SWOT: Um estudo numa empresa de tecnologia da informação. **Anais do IX SIMPROD**, 2017.
- DA MOTA, Elaine Rodrigues; MONTEIRO, Luis Fernando Silva; DO NASCIMENTO, Vanessa Soares. A importância da consultoria empresarial na elaboração do planejamento estratégico em empresas de pequeno porte. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 10, n. 2, p. 51-63, 2019.

- DAYCHOUW, Merhi. **40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento**. 3. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.
- DOS SANTOS CARVALHO, Giuliana Giovanna; DUARTE, Joslaine Chemim. MODELO DE DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL RUMO À CONSULTORIA. **Caderno PAIC**, v. 14, n. 1, p. 241-256, 2013.
- OLIVEIRA, B. A.; EPA, U.; OLIVEIRA, M. D. M.; TAKEDA, L. R., da Silva, R. M., & ROCHA, R. P. **Aplicação da Matriz SWOT em uma empresa de Tornearia situada no Paraná**, 2017.
- LEITE, Maykon Stanley Ribeiro; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segoria. ANÁLISE SWOT E SUAS FUNCIONALIDADES: o autoconhecimento da empresa e sua importância. **Revista interface tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 184-195, 2018.
- SILVA, Briany Campos do Carmo; TROMBINI, Jéssica de Castro; CORREA, Rafaela Saraiva. **APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DIAGRAMA DE ISHIKAWA E 5W2H**: um estudo de caso em uma microempresa de móveis no Sul de Minas. -, 2019.
- SILVA, Stefanny Moraes da Costa. **Análise SWOT**: ferramenta estratégica importante para a eficiência das organizações. 2022.
- TAKAHASHI, A. R. W. **Pesquisa qualitativa em administração**: fundamentos, métodos e usos no Brasil. / Adriana Roseli Wunsch Takahashi, organizadora. São Paulo: Atlas, 2013.

CAPÍTULO XXVIII

O PROJETO SIRIUS: PROMOVEDO CIÊNCIA NACIONAL E O GIRO DECOLONIAL

THE SIRIUS PROJECT: PROMOTING NATIONAL SCIENCE AND THE DECOLONIAL SHIFT

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-28

Francisco Levi Pereira Braga¹
Gylly Peterson Fernandes Lima²
Luiz Paulo Fernandes Lima³
José Ricardo Barros de Lima⁴
Vitor Acioly⁵

¹ Doutorando em Ensino de Ciência e Matemática. Universidade Federal do Ceará – UFC

² Mestre em Ensino de Física. Universidade Estadual do Ceará - UECE

³ Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Ceará – UFC

⁴ Doutorando em Ensino de Ciência e Matemática. Universidade Federal do Ceará – UFC

⁵ Professor e Pesquisador da Universidade Federal Fluminense – UFF

RESUMO

Fazer e pesquisar ciência de ponta pode remeter à ideia exclusiva de países com origens europeias ou americanas, mas esse pensamento não é verdadeiro quando voltamos nossa atenção para a produção científica de alguns projetos locais do Brasil, em especial o maior acelerador de partículas da América Latina: o Sirius. Com esse intuito, este trabalho busca apresentar uma abordagem que pretende provocar o giro decolonial, evidenciando o potencial de pesquisa nacional nas áreas de Física, Química e Biologia, além de um programa que oferece formação continuada a professores dessas áreas, chamado Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM). Como suporte metodológico, foi realizada uma pesquisa online, com as devidas autorizações, junto a professores das disciplinas de Ciências da Natureza, para evidenciar a forte formação acadêmica colonial e suas consequências para os alunos em sala de aula. Os dados coletados permitiram uma interpretação qualitativa e quantitativa, refletindo como está a valorização da ciência brasileira entre os professores e sugerindo opções para quebrar o paradigma de que tudo o que é bom vem de fora, mostrando que muita pesquisa de qualidade é originária do nosso país.

Palavras-chave: Projeto Sirius. Giro Decolonial. Formação de Professores.

ABSTRACT

Conducting and researching cutting-edge science might evoke the exclusive idea of countries with European or American origins, but this notion is not accurate when we focus on the scientific production of some local projects in Brazil, particularly the largest particle accelerator in Latin America: Sirius. With this aim, this work seeks to present an approach intended to provoke the decolonial shift, highlighting the national research potential in the fields of Physics, Chemistry, and Biology, as well as a program offering ongoing professional development for teachers in these areas, called the Sirius School for High School Teachers (ESPEM). As a methodological support, an online survey was conducted, with the necessary authorizations, among teachers of Natural Sciences, to reveal the strong colonial academic formation and its consequences for students in the classroom. The collected data allowed for qualitative and quantitative interpretation, reflecting how Brazilian science is valued among teachers and suggesting options to break the paradigm that everything good comes from abroad, showing that much high-quality research originates in our country.

Keywords: Sirius Project. Decolonial Shift. Teacher Training.

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos constantes avanços tecnológicos e da enorme gama de notícias que abordam assuntos relacionados à ciência disponíveis, quando estudamos, lemos ou escutamos algo sobre isso, é muito comum associarmos, quase instantaneamente, a culturas de origem europeia ou americana. Até mesmo os conteúdos ensinados nas escolas referem-se a produções científicas de pessoas originárias desses povos.

De acordo com essas ideias supracitadas, este trabalho tem como intenção principal valorizar a produção científica nacional através da divulgação de um projeto chamado SIRIUS, que trata-se do maior acelerador de partículas da América Latina, produzindo uma radiação chamada síncrotron, e está localizado na cidade de Campinas-SP, promovendo um pensamento de decolonialidade ao mostrar a capacidade e o potencial científico do nosso país. Apesar das mais diversas críticas de renomados pesquisadores sobre sistemas coloniais, analisando seus aspectos negativos que influenciam as populações em diferentes localidades, podemos observar que, mesmo após a Proclamação da República, o Brasil é fortemente bombardeado por saberes dos colonizadores de forma iníqua e sólida. Isso torna-se prejudicial quando se considera apenas a cultura científica europeia, e mais recentemente a americana, como exclusivas no que se refere à produção científica (Acioly, 2022).

A leitura deste artigo proporcionará a oportunidade de conhecer um pouco sobre o laboratório brasileiro e sugerir como ele pode promover um giro decolonial, demonstrando que o Brasil tem potencial para produzir ciência de ponta e ser referência fora dele, pois, como diz a música: “Sabemos agora, nem tudo que é bom vem de fora.” (ARAGÃO, 1986). Para complementar essa ideia de decolonialidade, como percurso metodológico, os professores responderam a um questionário que revela como eles veem a produção científica brasileira, entre outras questões, e se têm conhecimento do projeto Sirius, possibilitando uma análise crítica de como o sentimento de colonialidade permeia a formação dos profissionais da educação do estado do Ceará. Realizando-se uma análise dos dados referentes às respostas obtidas, este trabalho possui viés quantitativo e qualitativo, apresentando, em sua conclusão, uma visão sobre o que a amostra obtida pensa sobre a ciência produzida por nós, brasileiros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Podemos considerar que a corrente de pensamento decolonial começou a ter sua estrutura desenhada nas Américas quando o pensamento indígena e afro-caribenho resistiu

à fundação da modernidade/colonialidade (Santos, 2018). Teve continuidade, sem necessariamente estar relacionada com o decolonialismo nas Américas, pelo continente asiático e africano, e, em um momento posterior, ocorreu uma combinação entre Ásia e África durante o período da Guerra Fria, observando-se a dominância crescente dos Estados Unidos. Com isso, no período pós-Guerra Fria, o pensamento decolonial começa a ter sua própria genealogia (Mignolo, 2007).

Quando observamos algumas consequências do processo colonizador, podemos destacar aspectos que reproduzem uma desigualdade histórica, especialmente no tocante ao social, étnico-racial e de gênero, ou seja, a chamada modernização conservadora, que tem origem colonial, percebendo-se uma ênfase no racismo de Estado quando comparamos a outros povos e grupos oprimidos (Silveira, 2021). Segundo Mignolo (2017), existe uma diferença entre o pensamento decolonial e o pós-colonial, sendo este último ligado a construções de origem europeia. O “giro decolonial” tem sido usado de forma cada vez mais frequente, remetendo às características do movimento decolonial e suas especificidades, não sendo exclusivamente uma teoria, mas sim um “movimento de resistência teórico e prático, político e epistemológico, à lógica da modernidade/colonialidade” (Mignolo, 2008, p. 249, et al.).

Corroborando com as ideias anteriores, é válida uma discussão sobre a ciência como cultura, pontuando diálogos epistemológicos direcionados para uma reflexão no que tange à postura na educação científica que possa reforçar padronizações e desigualdades. Tudo isso vai ao encontro da ideia de uma sociedade moderna que tem origens e que ainda segue um formato europeu, formato esse que impõe aos demais povos a sensação de que a ciência é hegemônica e desenvolvida. Como conta a nossa história, o Brasil foi colonizado pelo povo de nacionalidade portuguesa de maneira mais explícita, gerando consequências negativas, como a morte de pessoas e de sua cultura (etnocídio), desvalorizando o conhecimento local, isto é, a ciência indígena existente na época. Com o fim da Segunda Guerra, intensificou-se a homogeneização da cultura europeia, acarretando consequências muito graves para os povos chamados de “subdesenvolvidos” (Cunha, 2020).

2.1. O PROJETO SIRIUS E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

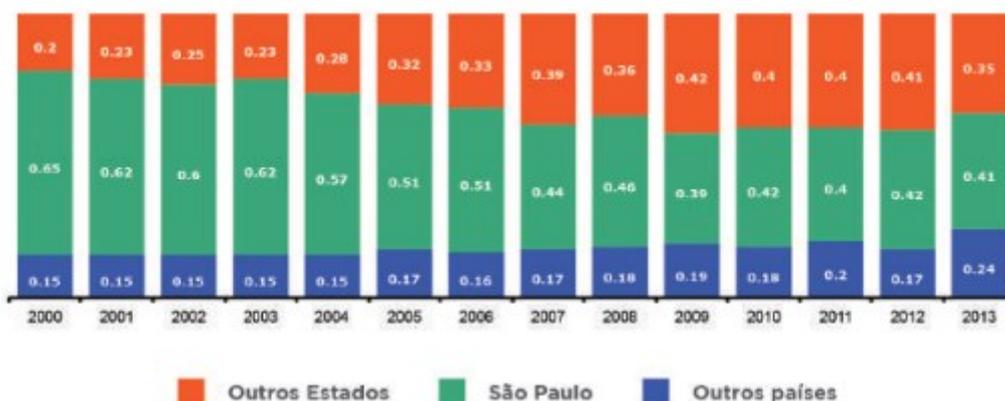
Alguns laboratórios são destinados a estudar um ramo mais específico das ciências, onde se investiga a matéria em um aspecto mais fundamental, ou seja, em um nível

microscópico, compreendendo como se comportam as partículas fundamentais que formam tudo o que conhecemos. Podemos citar o maior deles, que é o Large Hadron Collider (LHC), sob a responsabilidade do CERN, tratando-se de um laboratório que acelera feixes de prótons a uma velocidade próxima à da luz, fazendo-os colidirem.

Porém, não é apenas a Europa que detém um equipamento dessa importância. No Brasil, está instalado e em pleno funcionamento o Sirius. Trata-se de um equipamento que coloca o país como um dos líderes na produção de luz, tendo o maior brilho em relação à sua classe de energia. Formado por um conjunto de aceleradores de elétrons que giram em uma trajetória circular (aproximadamente 500 metros de circunferência), guiada por ímãs, os elétrons, ao sofrerem a deflexão, emitem um tipo de radiação muito especial, já citada anteriormente, chamada luz síncrotron. Esse tipo de luz tem o poder de permitir uma observação de amostras mais detalhada em nível microscópico, fazendo com que essa infraestrutura possa atender a todas as áreas do conhecimento.

O Sirius é operado pelo Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), que está em funcionamento desde a década de 1990, e teve uma previsão inicial de custo com valores girando em torno de US\$ 585.000.000,00, superando outros equipamentos, como o norte-americano NSLS II, em número de linhas de luz e brilho. Isso leva o país a ser um forte competidor em áreas como nanotecnologia, energias alternativas, biologia molecular estrutural, entre vários outros setores. O Sirius é uma fonte de luz de 4ª geração, tendo a melhor performance mundial em termos de sua classe de energia, tornando-o capaz de transpor seus próprios objetivos e abrangendo áreas como biotecnologia, nanotecnologia e o incentivo à energia verde com a utilização de combustíveis renováveis. O LNLS tem aspectos bastante interessantes por se tratar de um projeto multidisciplinar, atraindo engenheiros e pesquisadores que desenvolvem várias áreas tecnológicas importantes para o país. Podemos observar na figura 1 o quantitativo de projetos desenvolvidos pelo LNLS, mostrando a superioridade brasileira (Brasil, 2014).

Figura 17: Origens dos projetos de pesquisa desenvolvidos pelo LNSL ao longo dos anos.



Fonte: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5054> - Acesso em 05/06/2024

Um dos projetos de cunho pedagógico que combate a visão de que a ciência, para ser de excelência, deve ser oriunda de países europeus ou, mais recentemente, dos Estados Unidos, e que qualquer outro tipo de produção científica se trata apenas de uma reprodução do que já existe, é a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM). Este projeto é responsável por oferecer um curso de uma semana de duração, na cidade de Campinas – SP, para professores de Física, Química e Biologia do Brasil e de países da América Latina, como Uruguai, Chile, Costa Rica e Colômbia. Tudo acontece de forma presencial nas instalações do Centro Nacional de Pesquisa em Energias e Materiais (CNPEM), onde os professores são imersos em um ambiente que produz ciência de ponta, muitas vezes utilizado como referência em países do continente europeu. Isso pode impactar os profissionais da educação que manifestam aspectos de colonialidade e visão eurocêntrica, podendo quebrar o paradigma de que países fora de um “seleto” grupo de povos colonizadores não podem exercer um papel importante e original na produção científica (Acioly, 2022).

Podemos verificar que o fato de a ESPEM, ocorrida em 2024, ter selecionado professores de países da América Latina e Caribe pode proporcionar um momento interessante para todos os participantes, que é a troca de experiências entre culturas distintas, além da diversidade cultural entre os estados dos participantes. Segundo Geertz (2008), cultura pode ser entendida como “um sistema ordenado de significados e símbolos, em termos dos quais ocorre a interação social”. Quando falamos em cultura, podemos afirmar que cada uma é formada por subgrupos ou comunidades sociais que podem trocar, algumas mais e outras menos, valores, crenças, expectativas e ações que são convencionais. O cruzamento entre as microculturas pode acontecer quando uma pessoa consegue se mover

de certa comunidade social para outra (Glen, 1999). Isso foi observado na edição da ESPEM 2024, quando os professores selecionados tiveram a oportunidade de trocar vivências com outros que eram de países diferentes, nos próprios corredores da estrutura do SIRIUS e dos laboratórios.

2.2. METODOLOGIA

Com o objetivo de pesquisar o sentimento de colonialidade que possa estar presente na formação de professores das áreas de Física, Química e Biologia, foi realizado um estudo por meio de um questionário online, devidamente autorizados por todos participantes, que investigava aspectos que iam desde a formação profissional até o conhecimento do programa de formação ESPEM. Esse questionário foi respondido por diversos professores do estado do Ceará, das esferas pública estadual, municipal e federal, além de escolas particulares, nas disciplinas de Ciências da Natureza, e foi composto por oito perguntas, representadas pela letra “P” e seu respectivo número, conforme detalhado a seguir:

- P1 - Qual a sua formação?
- P2 - Em qual rede de ensino você trabalha?
- P3 - Como você se identifica em relação ao gênero?
- P4 - Em sua opinião, quais países mais produzem ciência de ponta?
- P5 - Você conhece algum local no Brasil que realiza pesquisa e produção científica? Caso sim, qual(s)?
- P6 - Você acredita que o Brasil pode realizar ciência de ponta, comparável à de países de origem europeia ou americana?
- P7 - Você conhece ou já ouviu falar do projeto SIRIUS? Se sim, o que você acha que é pesquisado e produzido nesse local?
- P8 - Você conhece a Escola SIRIUS para Professores do Ensino Médio (ESPEM)?

A pergunta P1 teve o intuito de fornecer informações sobre a formação dos professores. A P2 mensurou a esfera de trabalho de cada docente que participou da pesquisa. A P3 foi elaborada para mostrar possíveis diferenças quantitativas entre os gêneros dos profissionais. Já a P4 teve o objetivo de observar quais nações, na opinião do público participante, se destacam na produção científica de qualidade, verificando se a ciência nacional foi mencionada. A P5 procurou identificar se o Sirius é conhecido como local de produção científica de ponta, enquanto a P6 foi direta no cerne do problema abordado neste

trabalho. Da mesma forma, as perguntas P7 e P8 buscaram verificar se os profissionais da educação da área de Ciências da Natureza conhecem um local que tanto contribui para a ciência mundial.

As perguntas P4, P5 e P7 tiveram respostas descritivas, permitindo que os professores expressassem suas opiniões pessoais. Os dados obtidos por meio das respostas dos professores proporcionaram uma visão geral sobre o aspecto da colonialidade mencionado neste texto, além do nível de conhecimento sobre a existência da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio e do próprio projeto Sirius. Cada pergunta gerou respostas que apresentaram tanto características em comum quanto discrepâncias, possibilitando a realização de um levantamento estatístico que comprovou a necessidade de valorização da ciência nacional e da América Latina.

2.3. ANÁLISE DE DADOS

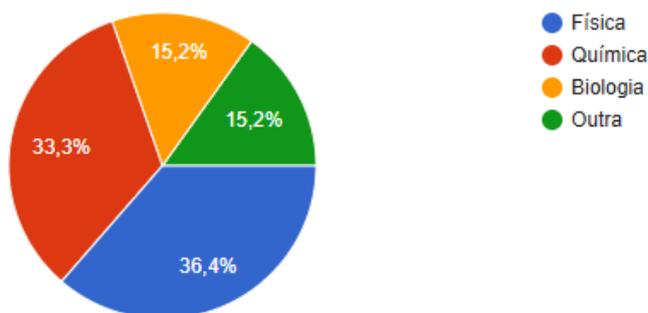
Neste momento, vamos realizar uma análise das respostas dos professores que participaram do questionário, realizado de forma online na plataforma Google Formulários, com o objetivo de observar se existem aspectos coloniais na formação docente desses profissionais. As identidades dos participantes serão mantidas em sigilo, conforme o consentimento dado ao fornecer as respostas, totalizando uma amostra de 33 docentes.

A pergunta P1 nos revelou que, da amostra total, 15 professores (45,5%) são da área de Biologia, 11 são da área de Química (33,3%), enquanto 12 são formados na área de Física (36,4%). A pergunta também mostrou que 5 profissionais (15,2%) têm outras formações que não estavam listadas como opções de resposta, como podemos ver na figura 02.

Figura 18: Pergunta P1 sobre a formação profissional dos professores

Qual a sua formação ?

33 respostas



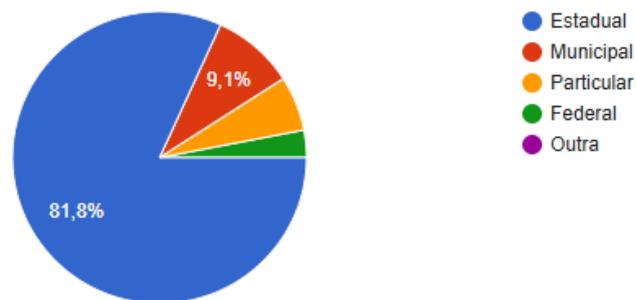
Fonte: Os autores – 2024.

Dando continuidade a análise, a pergunta P2 foi capaz de mostrar que 27 docentes (81,8%) que responderam o questionário trabalham na rede estadual de ensino, 3 são da rede Municipal (9,1%), 2 da rede particular e 1 de uma instituição da esfera Federal, todos do estado do Ceará, tais dados podem ser observados na figura 03.

Figura 19: Dados estatísticos sobre a rede de ensino que os professores trabalham.

Qual a rede de ensino que você trabalha?

33 respostas



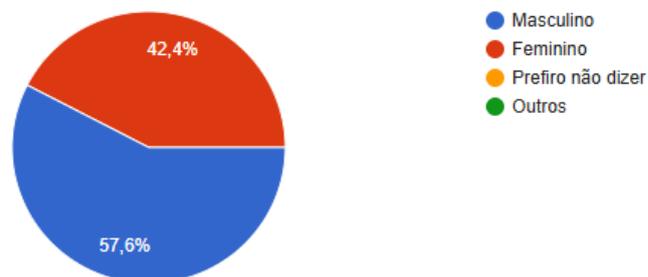
Fonte: Os autores – 2024

A figura 4 vai nos mostrar a pergunta P3, que solicitou a informação sobre o gênero que cada profissional se identificava, a leitura foi de que 19 (57,6%) profissionais são do gênero masculino e 14 (42,4%) do feminino, mostrando uma superioridade numérica do primeiro gênero citado.

Figura 20: Pergunta P4 que indagava o gênero que cada participante se identificava.

Como você se identifica no tocante ao gênero?

33 respostas



Fonte: Os autores – 2024.

Como citado na metodologia, a pergunta P4 teve caráter subjetivo, permitindo que o professor respondesse de forma pessoal, descrevendo quais países, em sua concepção, produzem ciência de ponta. De acordo com o gráfico 1, concluímos que a maioria dos participantes que responderam ao questionário entende que os EUA, China, Japão, Alemanha

e Brasil são os países que mais produzem ciência de ponta. Dentre as respostas recebidas, quatro foram muito gerais, sem responder diretamente ao que o questionamento solicitava, como por exemplo, "países europeus". Essas respostas não foram contabilizadas quantitativamente no gráfico abaixo, mas indicam que, para essas pessoas, a ciência europeia ainda é uma referência, apesar de uma quantidade razoável de menções ao nosso país.

Gráfico 1: Quantidade de vezes que cada país foi citado pelos participantes.



Fonte: Os autores – 2024

A análise da pergunta P5 se os professores conhecem os locais no Brasil que tem a tecnologia para uma produção de ciência de referência, assim como a P4 ela foi aberta para uma resposta pessoal. A tabela abaixo vai nos induzir de forma clara que uma quantidade mínima citou o laboratório Sirius, mostrando que este projeto tem um longo caminho a percorrer para uma divulgação necessária e real.

Tabela 7: Número de citações de locais que produzem ciência de ponta que os professores conhecem.

| Locais | Número de citações |
|-------------------------------------|--------------------|
| Universidades / Institutos Federais | 19 |
| Empresas | 7 |
| Sirius / Centros de pesquisa | 2 |

Fonte: Os autores – 2024.

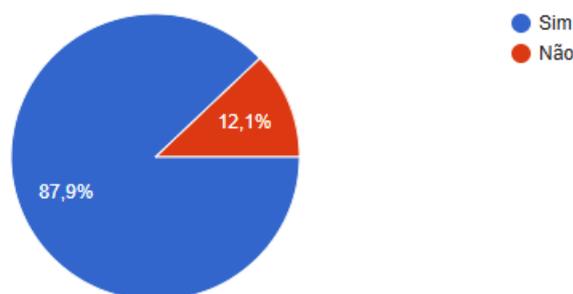
A pergunta P6 foi bem direta, mostrando uma conclusão positiva, pois 29 (87,9%) dos participantes acreditam que nosso país pode produzir uma ciência de muita qualidade, porém

observou-se que 4 (12,1%) ainda não estão convencidos que o Brasil pode ser comparado a países estrangeiros de origem europeia ou americana (Figura 5).

Figura 21: Porcentagem de participantes que acreditam, ou não, que o Brasil produz ciência que pode ser comparada a de países europeus/americanos.

Você acredita que o Brasil pode realizar ciência de ponta, comparáveis a outros países de origem Europeia ou Americana?

33 respostas



Fonte: Os autores – 2024.

Assim como a P4, a P7 teve um cunho pessoal, e ficou muito evidente a necessidade urgente de projetos de formação de professores que abordem a divulgação dos trabalhos do Sirius, a tabela 2 nos deixa claro o número de respostas negativas sobre o conhecimento do maior produtor de luz síncrotron da América Latina, percebeu-se que alguns dos participantes não responderam esse questionamento.

Tabela 8: Análise quantitativa sobre o conhecimento sobre o projeto Sirius.

| | |
|--|--------------|
| Respostas positivas sobre o conhecimento sobre o projeto Sirius. | 9 respostas |
| Respostas negativas sobre o conhecimento sobre o projeto Sirius | 11 respostas |
| Respostas positivas, mas sem justificativas | 1 resposta |
| Respostas vagas ou baseadas em “achismo” | 3 respostas |

Fonte: Os autores – 2024.

Por fim, mas não menos importante, a P8 veio demonstrar uma estatística de certa forma preocupante, o número de profissionais da educação que trabalham na área da Ciências da Natureza que não conhecem a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio, é muito superior àqueles que já experimentaram de alguma forma a ideia desse projeto. A figura 6

mostra que 27 (81,8%) da amostra não conhece a ESPEM, contra 6 (18,2%) que tem consciência dessa importante formação.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho nos revela a necessidade de divulgação e, como consequência, de valorização da produção científica do nosso país. Quando isso acontecer, poderemos observar uma grande quebra de paradigma, em que toda a cultura científica considerada de ponta é vista como oriunda de povos europeus, dos EUA ou orientais. Em outras palavras, será possível provocar o giro decolonial.

A partir de dados reais, originários de pessoas que estão efetivamente no chão da sala de aula, podemos perceber que ainda é latente uma formação colonial, que supervaloriza a ciência europeia e americana, sem reconhecer que nossa pátria é uma grande produtora de tecnologias e pesquisas que contribuem significativamente para todas as áreas da ciência. Um local que é especialmente adequado para ajudar no pensamento decolonial é o Sirius, com seus vários laboratórios que realizam pesquisas diariamente, onde brasileiros qualificados demonstram que somos capazes de produzir ciência de qualidade. Portanto, a melhor maneira de divulgar este trabalho é investir na formação de professores, pois são eles os responsáveis em moldar e orientar as futuras gerações de cientistas.

REFERÊNCIAS

Acioly, Vitor; Moraes, Rodrigo Fernandes; Santos, Antonio Carlos Fontes dos. Luz Síncrotron Promovendo o Giro Decolonial. Ensino, Saúde e Ambiente – v. 15, n. 2, p. 317-332, maio-ago. 2022.

ARAGÃO, Jorge. Coisa de Pele. Rio de Janeiro: Som Livre, 1986.

Brasil. Projeto Sirius: A Nova Fonte De Luz Síncrotron Brasileira. Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (Brasil) (LNLS). <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5054>

Ballestrin, L. (2013). América Latina E O Giro Decolonial. Revista Brasileira De Ciência Política, 1, 89-117. Carneiro, A. S. (2005). A Construção do Outro como NãoSer como fundamento do Ser. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade de São Paulo, SP.

Cunha, Camila; Pagan, Alice Alexandre; Wartha, Edson José. Diversidade E Preconceito No Ensino De Ciências: Elementos Para A Formação De Professores. Vitruvian Cogitationes, Maringá, v. 1, n. 1, p. 50-64, 2020 |ISSN 2675-9616.

Geertz, Clifford. A interpretação das culturas. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008

Glen, S. Aikenhead; Olugbemiro J. Jegede. Cross-Cultural Science Education: A Cognitive Explanation of a Cultural Phenomenon. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 36, NO. 3, PP. 269–287 (1999)

Mignolo, W. D. (2007). El pensamiento decolonial: desprendimiento y apertura. Un manifiesto. In S. C. Gómez & R. Grosfoguel (Orgs.), El giro decolonial: reflexiones para una diversidad epistémica más allá del capitalismo global (pp. 25-46). Bogotá: Siglo del Hombre Editores; Universidad Central, Instituto de Estudios Sociales Contemporáneos y Pontificia Universidad Javeriana, Instituto Pensar.

Mignolo, W. D. (2008). Desobediência epistêmica: a opção descolonial e o significado de identidade em política. Cadernos de Letras da UFF – Dossiê: Literatura, língua e identidade, 34, 287-324.

Silveira, Jucimeri Isolda; Nascimento, Sergio Luiz; Zalembessa, Simões. Colonialidade e decolonialidade na crítica ao racismo e às violações: para refletir sobre os desafios educação em direitos humanos. Educar em Revista, Curitiba, v. 37, e71306, 2021.

INSPEÇÃO DE ANOMALIAS EM FACHADAS: ESTUDO DOS EDIFÍCIOS SERGADAS VIANNA E SULAMÉRICA EM RECIFE/PE COM UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

INSPECTION OF ABNORMALIES IN FACADES: STUDY OF THE SERGADAS VIANNA AND SULAMÉRICA BUILDINGS IN RECIFE/PE WITH THE USE OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-29

Everson Silva de Albuquerque¹
Jair Henrique dos Passos Velozo²
Eliana Cristina Barreto Monteiro³
Paula Maciel Silva⁴
Laís Barreto Romão Trajano⁵
Ana Beatriz Santiago dos Anjos⁶

¹ Graduando do curso de engenharia civil. Universidade católica de Pernambuco – UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9384-9552>;

² Graduando do curso de engenharia civil. Universidade católica de Pernambuco – UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4253-1045>;

³ Professora do curso de engenharia civil. Universidade de Pernambuco - UPE e Universidade católica de Pernambuco – UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>;

⁴ Professora do curso de arquitetura e urbanismo. Universidade católica de Pernambuco - UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2345-4043>;

⁵ Graduanda do curso de arquitetura e urbanismo. Universidade católica de Pernambuco – UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3524-9394>;

⁶ Graduanda do curso de arquitetura e urbanismo. Universidade católica de Pernambuco – UNICAP; ORCID: <https://orcid.org/>

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise detalhada das manifestações patológicas em duas edificações: os edifícios Sergada Vianna e SulAmérica, ambas estão localizadas no bairro de São José, em Recife/PE, dentro do perímetro de uma das Zonas de Preservação Histórica e Cultural do centro da cidade e são exemplos representativos da arquitetura moderna. As estruturas foram investigadas por meio de uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), realizados levantamentos de dados e a elaboração dos mapas de danos, contendo a presença de sujidades, deslocamento do concreto, destacamento de tintas, além de armadura exposta com corrosão. O objetivo central é desenvolver um método eficaz para a identificação e diagnóstico preciso dessas manifestações patológicas, fornecendo uma base sólida para a manutenção e reabilitação estrutural. Os resultados obtidos com o uso de ARP facilitou e acelerou o mapeamento das

fachadas sendo preciso na identificação de cada tipo de manifestação patológica, que fornece uma visão abrangente das condições das edificações, facilitando a tomada de decisões informadas para intervenções de manutenção e reparo. A aplicação dessas abordagens inovadoras no campo da engenharia civil promove a eficiência na gestão de supra estruturas urbanas e históricas, contribuindo com a durabilidade, segurança, preservação a longo prazo e análise do impacto do estado de degradação do edifício na integridade do bem enquanto imóvel que possui valor cultural.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Mapa de danos. Diagnóstico. Patrimônio. Arquitetura moderna.

ABSTRACT

This article presents a detailed analysis of the pathological manifestations in two buildings: the Sergada Vianna and SulAmérica buildings, both

located in the São José district of Recife/PE, within the perimeter of one of the city center's Historic and Cultural Preservation Zones and representative examples of modern architecture. The structures were investigated using a RPA (Remotely Piloted Aircraft), data was collected and damage maps were drawn up, showing the presence of dirt, peeling concrete, peeling paint and exposed reinforcement with corrosion. The main objective is to develop an effective method for identifying and accurately diagnosing these pathological manifestations, providing a solid basis for structural maintenance and rehabilitation. The results obtained through the use of ARP have facilitated and accelerated the mapping of façades by accurately identifying each

type of pathological manifestation, which provides a comprehensive view of the condition of buildings, facilitating informed decision-making for maintenance and repair interventions. The application of these innovative approaches in the field of civil engineering promotes efficiency in the management of urban and historic superstructures, contributing to durability, safety, long-term preservation and analysis of the impact of the state of degradation of the building on the integrity of the asset as a property with cultural value.

Keywords: Pathological manifestations. Damage map. Diagnosis. Heritage. Modern architecture.

1. INTRODUÇÃO

A preservação e manutenção adequada das fachadas dos edifícios urbanos são de extrema importância para a conservação do patrimônio arquitetônico e para a segurança das estruturas. Em áreas urbanas como Recife, onde a história se entrelaça com a modernidade, a identificação e o diagnóstico preciso de manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios tornam-se imperativos (Anjos, 2016).

A elaboração do Mapa de Danos, através de registros gráficos e fotográficos detalhados, não apenas documenta os danos existentes nas fachadas dos prédios, mas também serve como uma ferramenta visual poderosa para comunicar a urgência e a magnitude das intervenções necessárias (Rêgo et al., 2022). Além disso, esse documento fornece uma referência prática para os profissionais envolvidos na gestão e conservação do patrimônio, facilitando a tomada de decisões informadas e a alocação eficiente de recursos.

O mapeamento e diagnóstico define as causas, mecanismos de ocorrência e origens de manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios Sergada Vianna e SulAmérica em Recife, Pernambuco, utilizando tecnologias de ARP. Ao integrar a análise visual das imagens obtidas com técnicas avançadas de processamento de dados, busca-se identificar e classificar com precisão uma variedade de problemas estruturais e estéticos, desde fissuras e descolamentos até a deterioração de revestimentos (Vanini, 2023).

Nesse contexto, o uso de ARP, também conhecidos como drone, emerge como uma ferramenta eficaz e inovadora para o mapeamento e diagnóstico dessas manifestações. Com sua capacidade de capturar imagens de alta resolução e realizar inspeções em áreas de difícil

acesso, oferecem uma abordagem precisa e não invasiva para a avaliação das condições das fachadas (Ballesteros, 2021).

Ao compreender melhor a natureza e a extensão das manifestações patológicas nessas fachadas emblemáticas, este estudo visa fornecer informações valiosas para a implementação de medidas corretivas e preventivas adequadas. Além disso, destaca o potencial das ARP's como uma ferramenta viável e eficiente para a conservação do patrimônio arquitetônico em ambientes urbanos complexos como Recife.

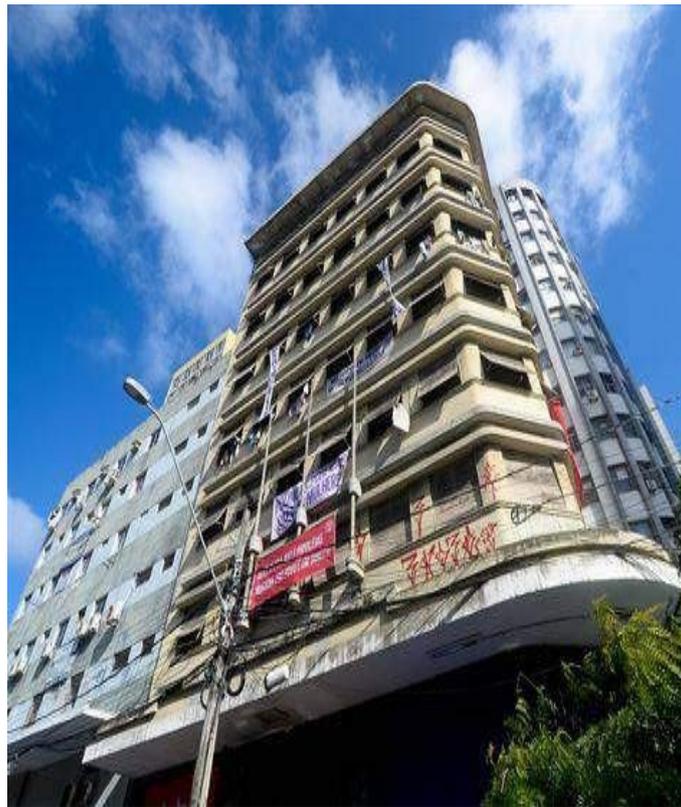
Inicialmente, será realizada uma revisão da literatura relacionada ao mapeamento e diagnóstico de manifestações patológicas em fachadas de edifícios, assim como ao uso de ARP. Serão investigadas técnicas de inspeção visual, classificação de danos e processamento de imagens. As imagens obtidas serão processadas utilizando software para correção geométrica, mosaico e análise visual. Serão aplicadas técnicas de mapas de danos para realçar áreas com manifestações patológicas e facilitar sua identificação.

1.1. HISTÓRICO

O um dos objetos de estudo escolhido para este trabalho foi o Edifício SulAmérica, Figura 1, localizado no bairro de Santo Antônio, na Praça da Independência, na cidade do Recife. Trata-se de um edifício que está sem uso desde 1995. Em 2018, foi ocupado por pouco mais de um ano, para fins de moradia, por membros do Movimento dos Trabalhadores Sem Teto, ficando conhecido como Ocupação Marielle Franco Diário de Pernambuco, (2018). Foi um marco na luta pela moradia popular no centro e foi simbólica na participação feminina à frente dos movimentos sociais e ajudou a mudar a percepção sobre as ocupações populares Marco Zero, (2018).

O outro objeto de estudo desta pesquisa é o Edifício Segada Vianna, Figura 2, situado no bairro Santo Antônio no Centro do Recife. O bairro teve sua origem no século XVI, quando o processo de expansão da cidade, iniciado no Bairro do Recife, cruzou o Rio Capibaribe, ocupando parte da Ilha de Antônio Vaz. O Edifício Segadas Vianna é hoje palco de discussões em torno da moradia no centro voltada para habitação de interesse social que, potencialmente, poderia ocupar parte do estoque construído vazio ou subutilizado. Está situado em uma Zona Especial de Preservação Histórica e Cultural (ZEPH) e é um exemplar da arquitetura moderna que marcou a última etapa de transformação do bairro.

Figura 1: Edifício SulAmérica.



Fonte: Autoria própria

Figura 2: Edifício Sergada Vianna.



Fonte: Autoria própria

2. MANIFESTAÇÕES DE DANOS

2.1. DIAGNÓSTICOS DAS EDIFICAÇÕES

Na edificação Sulamérica foram encontradas diversas patologias que deterioraram as fachadas e conseqüentemente diminuiu a vida útil das estruturas.

Assim também foram encontradas diversas patologias, algumas iguais a edificação anterior. Sujidades, bolor, deslocamentos do concreto, descascamento de pinturas, fissuras e aço aparente, é possívelmente ser visto em todas as fachadas das duas edificações e que essas patologias levam a problemas sérios das estruturas, e que danificam a estética das fachadas.

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 abaixo é possível relacionar todos os problemas citados acima.

Figura 3: Fachada Norte do Edifício SulAmérica



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 4: Fachada Oeste da Edificação Sulamérica



Fonte: Autoria própria(2023)

Figura 5: Fachada Sul da Edificação Sergadas Vianna



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 6: Fachada Norte da Edificação Sergada Vianna



Fonte: Autoria própria (2023)

Outros problemas foram encontrados, como pichações, eflorescências, esquadrias danificadas etc. Nas demais Figuras 7 a 9, serão apontadas conforme as nossas possíveis descrições.

Figura 7: Fachadas do edifício Sulamérica. Descrição (a, b, c e d)



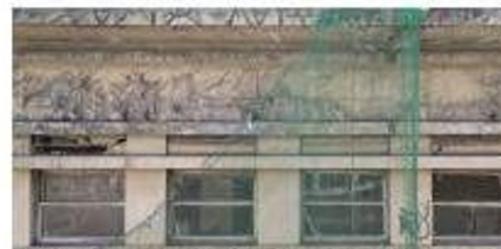
7a Detalhe retirado da fachado Oeste, mostra presença de Eflorescência pela fachada do edifício.



7b) Detalhe retirado da fachado Norte, mostra grande presença de pichações por toda a fachada do edifício.



7c) Detalhe retirado da fachado Oeste, mostra Esquadrias danificadas e com todas as Venezianas arrancadas.



7d) Detalhe retirado da fachado Oeste, mostra Fissuras em maior presença na parte superior do edifício.

Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 8: Fachadas do edifício Sergada Vianna. Descrição (a, b, c e d).



8a Detalhe retirado da fachada sul, mostra a presença de alvenaria construída (D1).



8b Detalhe retirado da fachada sul, mostra a presença de corrosão da armadura (D3) em grande parte do edifício.



8c Detalhe retirado da fachada sul, mostra a retirada das esquadrias (D9) em grande quantidade por todo o edifício.



8d Detalhe retirado da fachada sul, mostra a instalação de tapumes (D10) em grande quantidade no edifício.

Fonte: Autoria própria (2023)

A patologia identificada na região marcada refere-se à proximidade do edifício vizinho, o que dificultou a visualização completa da fachada. Supõe-se que, devido à falta de exposição solar, essa área possa acumular considerável sujeira.

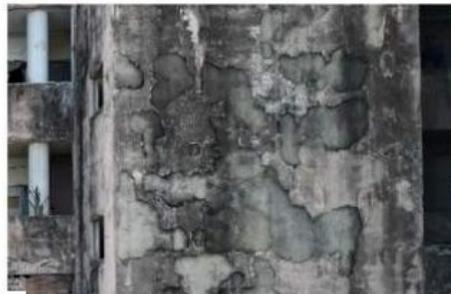
Figura 9: Fachadas do edifício Sergada Vianna. Descrição (a, b, c e d).



9a) Detalhe retirado da fachada norte, mostra Sujidade e Crosta Negra (D2) em grande parte da fachada.



9b) Detalhe retirado da fachada norte, mostra Sujidade e Crosta Negra (D2) em grande parte da fachada.



9c) Detalhe retirado da fachada norte, mostra a presença de deslocamento de concreto (D4).



9d) Detalhe retirado da fachada norte, mostra a presença de vegetação (D11).

Fonte: Autoria própria (2023)

2.2. MAPAS DE DANOS

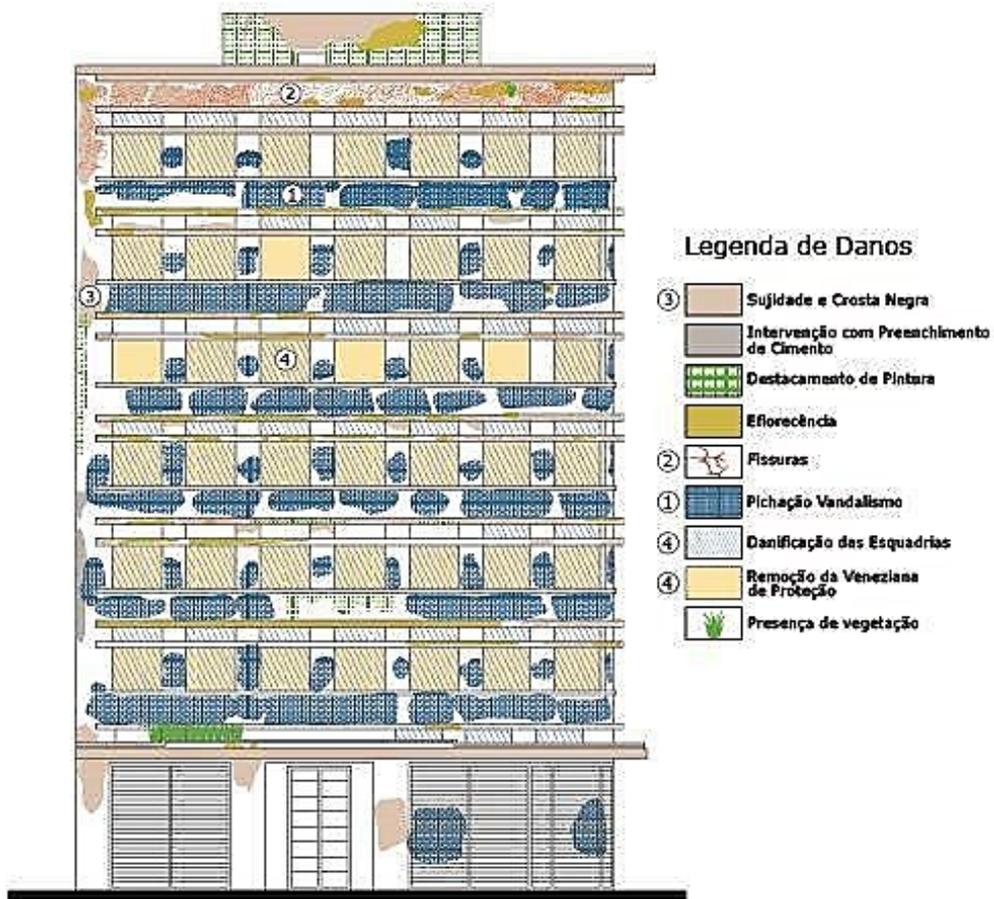
Segundo Lima et al. (2022) é uma técnica bastante empregada, pois irá compilar e representar graficamente todos os danos catalogados no mapeamento de danos da edificação, possibilitando relacionar aos seus agentes e suas causas. Através da análise dos mapas de danos é possível identificar com precisão o tipo de intervenção que será utilizada.

Os edifícios estudados tiveram suas fachadas estudadas com um método atualmente utilizado pelos profissionais de engenharia, do qual, consiste em identificar visualmente cada uma das manifestações patológicas das imagens retiradas e localizá-las graficamente através do mapa de danos.

Devido ao tempo de desuso e pela ausência de manutenções periódicas as edificações estudadas apresentaram diversas manifestações patológicas e por haver bastante manchas de sujidade, assim como, vandalismo (pixações) se tornou difícil, em parte, de localizar os problemas apresentados em cada uma das fachadas.

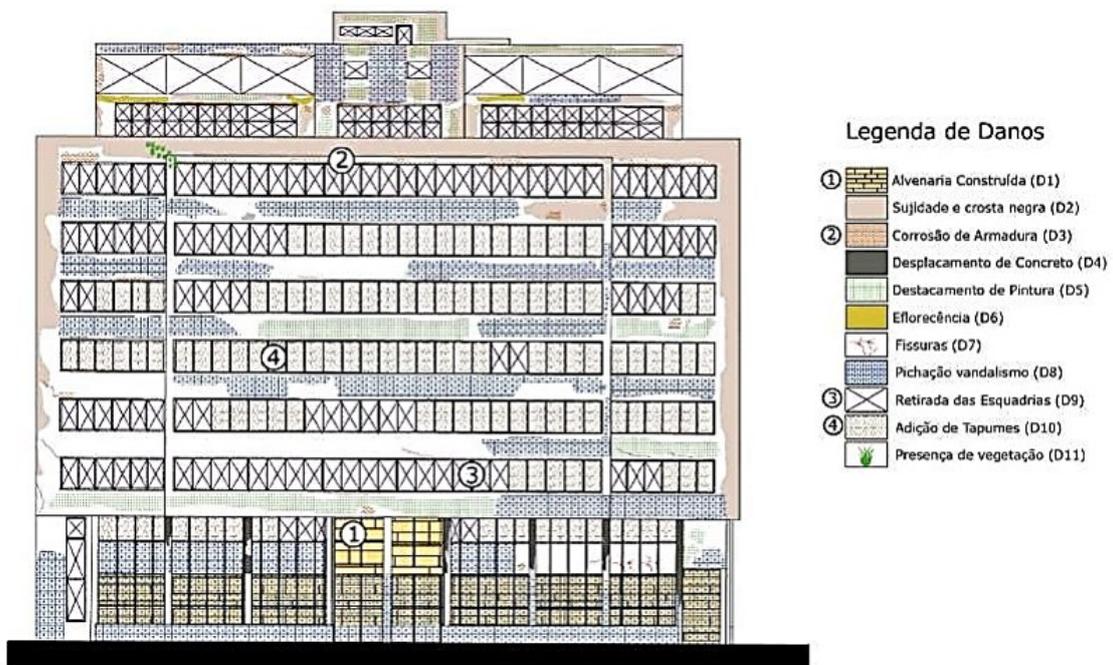
As Figuras 10 e 11 nos permite visualizar melhor quais e onde se encontram cada manifestação patológica.

Figura 10: Mapas de Danos na fachada norte da edificação Sulamérica



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 11: Mapas de Danos na fachada sul da edificação Sergada Vianna.



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 10, edifício SulAmérica, apresenta em quase toda a fachada a presença de pixação, que no meio científico não apresenta risco a estrutura, mas somente agride a estética da mesma. Como manifestação patológica mais presente e que prejudica a estrutura e abre caminho para intempéries, é citado as sujidades e crostas negra, devido ao ambiente ser bastante próximo ao litoral.

Já o edifício Sergada Vianna, Figura 11, nos mostra também uma grande predominância sujidade e crista negra, isso devido ao desuso e abandono da edificação, impedindo que tenha as devidas manutenções básicas. Outros problemas assolam as fachadas dessa edificação, como podemos citar: destacamento de pinturas, corrosão de armadura e até eflorescência.

A infiltração constitui um problema crônico nas estruturas de concreto e com penetração da água, que mais a diante, acaba tendo o contato com as armaduras de aço, desencadeando o processo de oxidação e expandindo a seção do vergalhão e deslocando a estrutura de concreto.

O concreto sofre o ataque por um dos meios que é o contato com CO_2 que baixa o Ph e despassiva as armaduras, permitindo que agentes agressivos adentrem. A presença de umidade pode sinais de que a estrutura não está indo bem e uma das manifestações patológicas que mostra isso é a eflorescência.

3. CONCLUSÃO

- O estudo das fachadas dos edifícios SulAmérica e Sergada Vianna indica detalhado e sistemático realizado para identificar e compreender as Manifestações Patológicas presentes.
- O uso de ARP sugere uma abordagem tecnológica específica para detalhar e analisar visualmente essas manifestações patológicas, que podem incluir fissuras, infiltrações, descolamentos de revestimentos, entre outros problemas.
- A importância do mapeamento e diagnóstico preciso dessas manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios, pois isso é fundamental para a tomada de decisões quanto às intervenções necessárias para correção e manutenção das estruturas.

- Além disso, a aplicação de técnicas como a ARP oferece uma visão mais abrangente e embasada dos riscos associados às patologias identificadas, auxiliando na elaboração de estratégias eficazes para a preservação e segurança dos edifícios e de seus usuários.

REFERÊNCIAS

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **VEÍCULOS Aéreos Não Tripulados (ARP) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021.

Camila Marques do Rêgo et al.. **Le ARP amento de Manifestações Patológicas Na Ponte Santa Isabel, Através de Mapa de Danos.** Research, Society and Development, v. 11, n. 11, e123111133382, 2022.

CAVALCANTI, Manuela. **Ocupação Marielle Franco, no Centro do Recife, é feita em Imóvel de Preservação.** Diário de Pernambuco, 20 março 2018. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2018/03/ocupacao-marielle-franco-no-centro-do-recife-e-feita-em-imovel-de-pr.html>. Acesso em: 16 Março de 2024.

Leandro Oliveira Dos Anjos. **Identificações Das Principais Patologias Em Edifícios No Município De Alegrete/RS.** Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

Marco Zero, 2018. Disponível em: **Ocupação Marielle Franco Expõe Falta De Política De Reurbanização No Recife - MTST.** Acessado em 06/03/2024.

VANINI, Gustavo N. (1); OLIVEIRA, Fabiana L. de (2). **Considerações Sobre A Aplicação Da Fotogrametria Digital Na Concepção Do Mapa De Danos De Edificações Históricas.** Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Meio Ambiente. VIII SBQP 2023 – Pelotas, RS, Brasil, 2023.

Research, Society and Development,. **Manifestações patológicas em fachadas de edificações históricas – mapa de danos: estudo de caso da igreja Santuário Nossa Senhora de Fátima.** <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33394/28262>. Acessado em 06/03/2024.

REPRODUÇÃO ARTIFICIAL EM ESPÉCIES NATIVAS DE PEIXES: NOVAS IMPLICAÇÕES

ARTIFICIAL REPRODUCTION IN SOUTH AMERICA NATIVE SPECIES: NEW IMPLICATIONS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-30

Ketlyn Harinne Sousa Santos¹

Italo Serri Sartório Lopes²

Fernanda Lemos Resende³

Cristielle Nunes Souto⁴

¹ Graduada em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário de Mineiros – UNIFIMES

² Discente do curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

³ Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Jataí – UFJ

⁴ Docente do curso de Zootecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

RESUMO

A indução reprodutiva de peixes reofílicos em pisciculturas é uma prática essencial para garantir o sucesso da reprodução artificial e a sustentabilidade da aquicultura. Peixes reofílicos, que dependem de correntes de água para o estímulo reprodutivo, muitas vezes não conseguem se reproduzir adequadamente em ambientes de cativeiro devido à falta de condições naturais, como mudanças sazonais de temperatura e fluxo de água. Para contornar esse desafio, são utilizados protocolos hormonais que mimetizam os sinais fisiológicos e ambientais necessários para a reprodução. Os principais hormônios utilizados na indução reprodutiva de peixes são as gonadotrofinas (como o hCG - gonadotrofina coriônica humana) e os análogos do GnRH (hormônio liberador de gonadotrofina), que estimulam a maturação final dos oócitos e a desova. A aplicação desses hormônios pode ser feita por meio de injeções intramusculares ou implantes, dependendo da espécie e do protocolo específico. Além das gonadotrofinas e GnRH, também são utilizados indutores como o extrato de hipófise de peixe, que contém um conjunto de hormônios pituitários naturais. Esse método tem sido tradicionalmente empregado devido à sua eficácia em diversas espécies. Os protocolos hormonais são ajustados de acordo com a espécie-alvo, o estágio de maturação gonadal dos peixes e as condições específicas da piscicultura. Com base nisso, o objetivo deste capítulo é revisar aspectos da reprodução de peixes

que necessitam de indução hormonal para reproduzirem em sistemas de produção, visando apresentar hormônios utilizados, discorrer sobre seus efeitos e simplificar seu uso, construindo um padrão de indução hormonal, incluindo doses indicadas.

Palavras-chave: Indução Hormonal. Peixes reofílicos. Piracema.

ABSTRACT

The reproductive induction of rheophilic fish in fish farms is an essential practice to ensure the success of artificial reproduction and the sustainability of aquaculture. Rheophilic fish, which rely on water currents for reproductive stimuli, often cannot reproduce adequately in captive environments due to the lack of natural conditions, such as seasonal changes in temperature and water flow. To overcome this challenge, hormonal protocols are used that mimic the physiological and environmental signals necessary for reproduction. The main hormones used in the reproductive induction of fish are gonadotropins (such as hCG - human chorionic gonadotropin) and GnRH analogs (gonadotropin-releasing hormone), which stimulate the final maturation of oocytes and spawning. The application of these hormones can be done through intramuscular injections or implants, depending on the species and the specific protocol. In addition to gonadotropins and GnRH, inducers such as fish pituitary extract, which contains a set of natural

pituitary hormones, are also used. This method has traditionally been employed due to its efficacy in various species. Hormonal protocols are adjusted according to the target species, the stage of gonadal maturation of the fish, and the specific conditions of the fish farm. Based on this, the aim of this chapter is to review aspects of fish reproduction that require hormonal induction to reproduce in production

systems, presenting the hormones used, discussing their effects, and simplifying their use, while establishing a hormonal induction standard, including recommended doses.

Keywords: Hormonal induction. Reophilic fish. Piracema.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o anuário da Peixe BR (2023), o cultivo de peixes no Brasil alcançou a marca de 860 mil toneladas. Estes dados colocaram o Brasil como o 4º maior produtor de peixes do mundo, conferindo aumento tão intenso que supera o avanço existente na produção de suínos, bovinos e aves. Deste modo, uma breve análise nos anuários anteriores revela o crescimento do ramo, que tem gerado uma queda significativa na importação e aumento na exportação, que hoje totalizam 8.492 toneladas exportadas. A maioria das exportações consiste em peixes reofílicos, sendo os principais: Tilápia (*Oreochromis niloticus*), com 8.347 toneladas (espécie não reofílica); Tambaqui (*Colossoma macropomum*), com 70 toneladas e Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), com 17 toneladas. Estes dados são relacionados a diversos produtos de origem piscícola, desde filés e peixes inteiros congelados, até produtos como óleos e gorduras.

A aquicultura é um ramo visivelmente em ascensão, o que prova que o consumidor segue aderindo ao peixe como um alimento presente em sua mesa de forma frequente. Segundo dados do anuário da Peixe BR (2023), o Tambaqui e o Pintado, que são peixes reofílicos, estão entre os peixes mais consumidos. Isto imprime, no mercado piscicultor, a necessidade de encontrar meios de reproduzir estes peixes em cativeiro de forma cada vez mais eficaz, fazendo com que técnicas que já existem sejam complementadas ou substituídas.

Normalmente, na natureza, os peixes reofílicos necessitam passar pela migração para a nascente dos rios para que a maturação gonadal ocorra. Isso se deve a diversos fatores, como fotoperíodo, luz, pluviosidade, disponibilidade de alimentos, entre outros. Deste modo, quando estes peixes chegam ao seu local de reprodução, apresentam gônadas maduras e aptas para a fertilização. Sendo assim, em cativeiro, isso seria, de certo modo, impossível, o que levou à criação de métodos farmacológicos para promover a maturação gonadal sem que o peixe tenha acesso aos estímulos presentes no ambiente natural. A estes métodos é dado o nome de indução hormonal (FILHO, 2007).

Em seu habitat, os peixes realizam o envio de sinais que chegam ao hipotálamo por meio de estímulos ambientais e características da espécie, como presença de outros peixes, densidade de animais do sexo oposto, entre outros. Esses estímulos afetarão os órgãos sensoriais destes peixes, desencadeando a produção de hormônios que promoverão o desenvolvimento gonadal (ABREU, 2015).

Através da indução hormonal, é possível promover o desenvolvimento gonadal mesmo na ausência de sinais ambientais ou sociais, facilitando assim a reprodução de um grande número de peixes em cativeiro de forma controlada.

Por meio deste capítulo, objetiva-se simplificar métodos de indução por meio de quadro, reunindo dosagens utilizadas para determinadas espécies de peixes.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão de literatura, onde foram utilizadas as bases de dados *Acta Scientiarum*, SENAR, VETINDEX, Portal GIA e Portal EMBRAPA. Além disso, foram empregadas ferramentas de busca como Google Acadêmico, Scielo e Elsevier, buscando artigos referentes à utilização de protocolos hormonais na indução reprodutiva de peixes.

Os dados coletados para a elaboração do capítulo baseiam-se no período de junho de 2021 a agosto de 2024. A pesquisa foi limitada a artigos publicados no período de 1993 a 2024, tendo como critério a inclusão de artigos científicos e livros publicados em bases de dados de referência. Como exclusão artigo de opinião, resenhas e outros tipos de publicações, além de artigos anteriores ao ano de 2003, exceto aqueles que possuíam conceitos básicos e definições.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS PEIXES

São classificados como peixes reofílicos aqueles que necessitam realizar migração em seu período reprodutivo para que a desova e a espermiacão aconteçam. Esse evento é conhecido popularmente como piracema e ocorre devido a biologia de vida dos peixes que habitam ambientes lóticos nos rios e necessitam de águas mais brandas para se reproduzirem, já que a liberação dos gametas ocorre diretamente na água, não havendo cópula.

Entre as espécies de importância econômica que apresentam esse comportamento reprodutivo, destacam-se pacu caranha (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma*

macropomum), pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) e dourado (*Salminus brasiliensis*) (DALMASS, 2016).

Além disso, existem os peixes não reofílicos, também chamados de sedentários, que desovam em águas lânticas e não realizam a migração durante a piracema. Entre os peixes mais comuns, estão o tucunaré (*Cichla sp.*), a tilápia (*Oreochromis niloticus*), a traíra (*Hoplias malabaricus*) e o pirarucu (*Arapaima gigas*).

A reprodução dos peixes sedentários em cativeiro é menos onerosa, pois demanda menos recursos investidos, como mão de obra especializada, hormônios, instalações específicas ou qualquer adaptação para adequação artificial do ambiente. Contudo, essa reprodução é desordenada devido ao pouco monitoramento e acompanhamento dos estágios reprodutivos destes animais (DALMASS, 2016).

O foco deste capítulo será a reprodução de peixes reofílicos, abordando os eventos climáticos que podem influenciar a reprodução e a forma como os protocolos hormonais desencadeiam a reprodução em peixes de cultivo.

3.2. ENDOCRINOLOGIA REPRODUTIVA EM ESPÉCIES REOFÍLICAS DE PEIXES

As espécies nativas que realizam a piracema recebem o nome de peixes reofílicos. Essas espécies pertencem ao grupo que necessita realizar migração para reproduzir-se, sendo que, normalmente, vivem em ambientes com correnteza e a migração é a principal envolvida na maturação gonadal final (DALMASS, 2016). A idade que os peixes chegam à idade de maturação sexual adequada pode variar bastante, principalmente entre espécies diferentes.

Assim como nos outros animais, os processos de liberação de gametas em peixes são controlados por uma série de hormônios que atuam diretamente no hipotálamo e na hipófise, induzindo as gônadas na maturação final e na extrusão dos gametas (ÓRFÃO, 2013, p.2)

A reprodução em peixes é articulada a partir de estímulos ambientais e moderada pelo sistema neuroendócrino, basicamente pelo eixo hipotálamo-hipófise-gonadal, que comanda a síntese de hormônios, regulando a reprodução.

Os estímulos ambientais relacionados incluem a elevação da temperatura, aumento da luminosidade diária e aumento da pluviosidade, que serão associadas as características sociais destes peixes, como a presença de outros peixes e presença de animais de sexo oposto. Estes estímulos são detectados pelos órgãos sensoriais e enviados para o hipotálamo, que

então produz GnRH. Em resposta, a hipófise secreta hormônios gonadotróficos que estimulam as gônadas a secretarem seus respectivos hormônios sexuais (ABREU, 2015).

Nos machos, a espermatogênese testicular e espermiacão são reguladas pela secreção hipofisária de FSH e LH por meio da ação dos esteróides sexuais, bem como outros fatores de crescimento. Antes do início da espermatogênese, a renovação das germinativas espermatogoniais é regulada pelo estradiol (E2), agindo nas células de Sertoli (MIURA et al., 2002). O andrógeno 11-ceto-testosterona (11KT) é o principal regulador da espermatogênese, enquanto o esteróide indutor de maturação (MIS) regula a capacitação e a espermiacão dos espermatozoides (MIURA et al., 2002; SCHULZ et al. 2010). Ambos os esteróides são sintetizados pelas células de Leydig dos testículos, após estimulação com hormônios gonadotróficos (FSH e LH). O LH está principalmente envolvido na estimulação da produção de andrógenos em células de Leydig, enquanto o FSH parece exercer funções mais complexas nos testículos, estimulando a produção de andrógenos das células de Leydig, mas também regulando a atividade das células de Sertoli durante a espermatogênese. Embora os mecanismos regulares do FSH sejam principalmente desconhecidos, as possíveis funções do FSH nos testículos incluem o estímulo da proliferação e diferenciação das células de Sertoli, a síntese de certos fatores de crescimento que atuam como fatores autócrinos e parácrinos envolvidos na proliferação das células de Sertoli, e diferenciação e desenvolvimento das células germinativas (BOBE; LABBÉ, 2010; HONJI, 2017; MAITRA et al., 2013; MIURA et al., 2002; SCHULZ et al., 2010).

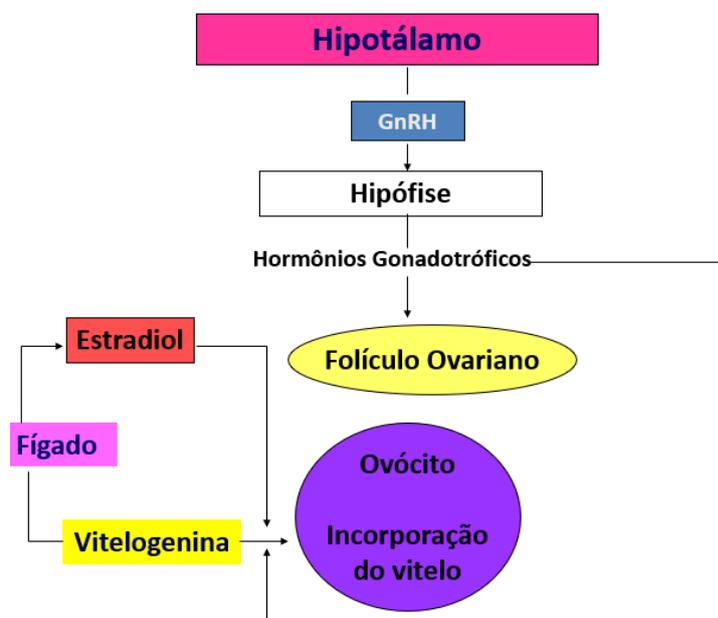
Em fêmeas, um papel predominante foi sugerido para o FSH durante vitelogênese em peixes com desenvolvimento ovariano sincrônico (reofílicos). Por outro lado, em peixes com desenvolvimento ovariano assíncrono, o papel do FSH na vitelogênese é menos claro, e uma função possível também foi atribuída ao LH. Isso se deve, em parte, às flutuações paralelas nas transcrições de FSHb e LHb durante o crescimento ovariano, enquanto o controle gonadotrófico da vitelogênese envolve a produção folicular de E2, FSH e LH, que são capazes de estimular sua síntese *in vitro*. No entanto, uma regulação diferencial das duas gonadotrofinas poderia ocorrer também a nível do receptor (CALDAS et al., 2021; MYLONAS et al., 2010).

Além disso, observa-se um papel específico do FSH na estimulação da expressão do mRNA da aromatase do citocromo P-450 *in vitro*, que é responsável por catalisar a conversão de testosterona em E2. O FSH também pode estimular a incorporação de vitelogenina (Vtg)

nos folículos. A estimulação gonadotrópica do ovário durante o período da vitelogênese induz a esteroidogênese por meio de um processo biossintético de duas células, no qual a camada externa da teca sintetiza testosterona, que é transportada para as células da granulosa e convertida em E2. Durante a vitelogênese, o E2 regula o desenvolvimento do oócito e a síntese de Vtg e outras proteínas relacionadas no fígado (HONJI, 2017; NAVARRO, 2012).

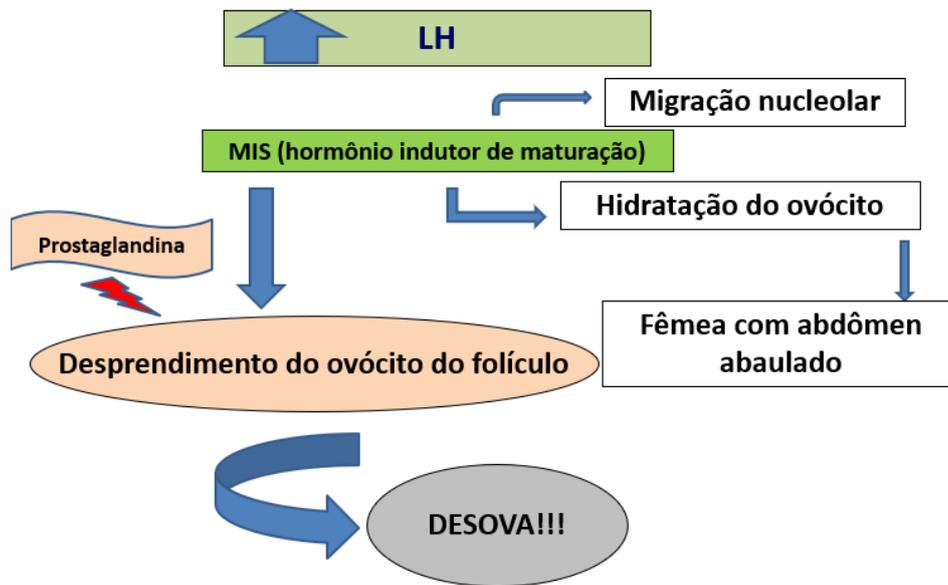
Além do controle gonadotrópico e de E2 na vitelogênese, sugere-se que outros hormônios (testosterona, por exemplo) e fatores parácrinos poderiam cooperar na captação de Vtg no crescimento de folículos. Na conclusão da vitelogênese, a maturação ovocitária é desencadeada pela ação do LH nas células foliculares, que sintetizam e secretam a maturação do hormônio indutor de maturação (MIS) (Figuras 3 e 4). Em salmonídeos (*Onchorhynchus* e *Salmo spp.*), algumas espécies de água doce e peixes marinhos, o MIS é a progestina 17,20 β -dihidroxi-4-pregnen-3-ona (17,20 β P). O MIS se liga a receptores específicos nos oócitos, e o sinal recebido na superfície do oócito é transduzido para o citoplasma, resultando na formação e ativação do fator de promoção da maturação (FPM), que é responsável pela retomada da meiose e conclusão da maturação de oócitos (CHATTORAJ et al., 2005; MYLONAS et al., 2010; PEREIRA et al., 2017; ROZA DE ABREU et al., 2021).

Figura 1: Sequência de acontecimentos de fatores relacionados à endocrinologia reprodutiva de peixes.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 2: Sequência de acontecimentos de fatores relacionados à maturação final reprodutiva de peixes.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3. PROTOCOLOS HORMONAIIS UTILIZADOS NA REPRODUÇÃO ARTIFICIAL DE PEIXES

A reprodução de peixes em sistemas de cultivo pode ser controlada por meio da manipulação de fatores ambientais, como fotoperíodo, temperatura da água e pluviosidade. No entanto, a ecobiologia de algumas espécies de peixes não é tão conhecida, ou a espécie apresenta particularidades que tornam difícil simular os parâmetros ambientais (migração de desova, profundidade, hidráulica fluvial, etc.) necessários para a reprodução natural (ANDRADE, 2003). Nesses casos, o uso de hormônios exógenos, normalmente administrados por via intramuscular ou intra-abdominal, é um método eficaz que objetiva induzir a maturação reprodutiva e produzir ovos férteis. Além disso, em todos os peixes cultivados, as manipulações hormonais podem ser usadas como ferramentas de gestão para aumentarem a eficiência de produção de ovos, melhorar a espermição e facilitar as operações de incubação e produção de larvas.

Por fim, as terapias hormonais podem ser empregadas para induzir a maturação de gametas, permitirem a coleta artificial de ovócitos e espermatozoides e, posteriormente, realizar a fertilização. O tipo de hormônio utilizado para indução, protocolos de administração e procedimentos de aquisição de gametas podem variar dependendo da biologia reprodutiva de cada espécie cultivada, dependendo, também, do controle endócrino da gametogênese, maturação final e a desova. Mesmo as informações sobre o uso de diferentes indutores de

reprodução para espécies nativas serem escassas, buscou-se descrever os protocolos mais atuais e suas respostas nos índices reprodutivos.

3.3.1. GnRH

O GnRH tem sido preferido por muitos técnicos na indução de desova de peixes desde 1975, pois tem apresentado resultados eficazes desde então e suas dosagens são semelhantes entre diversas espécies. Assim, trata-se de um hormônio não específico para espécies, que tem efeitos rápidos na maturação final e liberação de gametas, embora esses efeitos possam variar conforme a dosagem utilizada e a espécie de peixe submetida ao protocolo. Além disso, o mercado oferece o análogo Buserelina, que tem se mostrado eficaz na indução de teleósteos (EMBRAPA, 2013).

Outros análogos encontrados são o LHRH de mamíferos e o sGnRH de salmão. A utilização desses hormônios hipotalâmicos se justifica porque o início da vitelogênese seria normalmente desencadeado por estímulos ambientais que gerariam descargas de gonadotrofinas. No entanto, em cativeiro, o hormônio permite o encurtamento dessa fase, sendo útil para a preparação de matrizes. Isso é especialmente relevante para animais selecionados para reprodução que já passaram pela vitelogênese e estão no período de dormência, que antecede a maturação gonadal final (HARVEY & CAROLSFELD, 1993).

Implantes de liberação lenta de GnRHa têm sido aplicados com sucesso em algumas espécies de teleósteos. Nesse contexto, esses implantes foram utilizados para antecipar a desova, intensificar o processo vitelogênico e induzir a vitelogênese e desova em peixes pré-púberes. Os efeitos do implante de GnRHa na maturação ovariana são precedidos por mudanças em vários níveis do eixo hipotálamo-hipófise-gonadal e no hormônio do crescimento (GH). Além disso, o GnRH também pode atuar na síntese e liberação de GH, que pode ser considerada como uma Bco-gonadotrofina em teleósteos, participando do eixo gonadal e contribuindo para a gametogênese e esteroidogênese (BOMBARDELLI; SANCHES, 2006; MYLONAS et al., 2017).

Ovopel® é composto por um análogo de GnRH de mamífero (D-Ala6, Pro9Net-mGnRH) e um antagonista de dopamina (metoclopramida), nas concentrações de 18–20 µg e 8 a 10 mg, respectivamente (SOUZA et al., 2018). Este composto também pode ser utilizado na indução da reprodução de espécies de peixes nativas. Posteriormente, serão discutidos alguns trabalhos que relatam as vantagens e desvantagens do uso desse composto.

3.3.2. FSH e LH

Quando pensamos nos hormônios LH e FSH, logo relacionamos a liberação destes pela adeno-hipófise, também chamada de hipófise anterior. Estes hormônios são chamados de gonadotróficos. Nas fêmeas, o FSH é responsável pelo crescimento do oócito e desenvolvimento folicular, enquanto o LH é responsável pela maturação final do ócito. Nos machos, o FSH é responsável pela proliferação das espermatogônias, o que corresponde em uma das fases da espermatogênese, e também contribui para a liberação de androgênos. Em contrapartida, o LH está envolvido na liberação do sêmen e no acasalamento (MYLONAS et al., 2010; PEREIRA et al., 2017).

3.3.3. HCG e ECG

O HCG trata-se da gonadotropina placentária de mamíferos mais utilizada na reprodução de peixes, tendo seu efeito farmacológico relacionado ao do LH. É comumente utilizado tanto para fêmeas quanto machos, e pode ser administrado de forma isolada ou em conjunto com outros hormônios, além de ser facilmente encontrado no meio comercial e possuir baixo valor de custo.

Quanto à utilização de gonadotrofina coriônica equina, há pouca literatura disponível, com apenas uma pesquisa relacionada à indução hormonal em Curimba (*Prochilodus lineatus*). Apesar de bastante utilizado na reprodução de mamíferos, não possui dados comprovados na indução reprodutiva de peixes.

3.3.4. Extrato hipófise de Carpa (EHC)

Devido à sua facilidade de aplicação, um dos métodos mais utilizados na piscicultura é o extrato hipofisário, em que é possível encontrar LH e FSH em quantidades altas. No entanto, não permite dosar a quantidade destes hormônios que será administrada.

Este meio é utilizado desde 1930 e ainda prevalece no mercado aquícola; no entanto, atualmente tende a ser associado a outros hormônios mais específicos.

A técnica de hipofisação consiste na remoção da hipófise de um animal sexualmente maduro abatido, com posterior desidratação da hipófise em acetona. O extrato hipofisário de peixe, normalmente de carpa comum, e o Ovopel® são muito utilizados em virtude das inúmeras vantagens que possuem, o qual destacam-se a praticidade da técnica, utilização de instrumentos comuns, facilidade de cálculo de dosagem, além de dispensar o armazenamento com refrigeração (ARAUJO et al., 2014; MARTINS et al., 2017).

Em fêmeas de *Leporinus macrocephalus*, o uso de mGnRHa associado à metoclopramida é mais eficiente como indutor de ovulação em comparação ao EHC. No entanto, resultou em uma menor porcentagem de embriões viáveis, o que pode ser uma consequência da toxicidade do mGnRHa. São necessários estudos que avaliem a eficácia de dosagens mais baixas desse hormônio (PEREIRA et al., 2017).

Em outro estudo, com fêmeas de *Leporinus elongatus* induzidas por diferentes protocolos hormonais (EHC em doses fracionadas: 0,5 e 5,0 mg/kg; mGnRHa em doses únicas: 3,5 µg/kg e 5,0 µg/kg), as taxas de desova e a fecundidade absoluta foram semelhantes entre os tratamentos. No entanto, as taxas de fertilidade foram maiores com o tratamento EHC em comparação com os tratamentos baseados em mGnRHa. Embora as fêmeas tenham ovulado em todos os tratamentos, nenhum deles resultou em embriões viáveis, com taxas de eclosão próximas a zero. Ambos os tratamentos com mGnRHa foram mais eficazes para induzir o processo ovulatório do que o tratamento com EHC, como evidenciado pela maior densidade de volume dos folículos pós-ovulatórios (POF) nos tratamentos com mGnRHa. (PEREIRA et al., 2018). Esses resultados indicam que o uso de doses convencionais de EHC e GnRH não é adequado para algumas espécies migratórias sul-americanas, devido à falta de embriões viáveis.

Em trabalho realizado com *Leiarius marmoratus*, concluiu-se que o Ovopel® poderia substituir o extrato de hipófise da carpa na indução de espermição em machos. Esse comportamento se repete em fêmeas de *Colossoma macropomum*, onde os tratamentos com Ovopel® (0,2 pellet/kg de peso corporal) são tão eficientes quanto o tratamento com EHC na indução da reprodução. Para *Leporinus friderici*, dosagens menores de EHC (0,5 e 1,0 mg/kg) proporcionaram maiores taxas de embriões viáveis em comparação com dosagens convencionais de EHC (0,5 e 5,5 mg/kg) e com mGnRHa associado à metoclopramida (ARAÚJO et al., 2014).

Em machos de *Leporinus obtusidens*, a qualidade dos espermatozoides foi semelhante quando utilizados EHC e gonadorrelina (um análogo do GnRH). No entanto, o protocolo com gonadorrelina mostrou-se 14% menos oneroso em comparação ao EHC, indicando que a gonadorrelina pode ser utilizada nos protocolos de indução para machos dessa espécie, reduzindo os custos com a reprodução (BERNARDES JÚNIOR et al., 2017).

No quadro 1, são apresentadas informações mais recentes sobre utilização de diferentes hormônios na indução de reprodução de machos e fêmeas de espécies de peixes nativos do Brasil.

Quadro 1: Espécies de peixes nativos, hormônios e dosagens recomendadas para indução de reprodução.

| Espécie | Hormônio | Dosagem | Autores |
|----------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------------|
| <i>Colossoma macropomum</i> ♀ | mGnRHa | 7 µg/kg* | (SOUZA et al., 2018) |
| <i>Leiarius marmoratus</i> ♂ | Ovopel® | 0,2-0,6 mg/kg | (ARAÚJO et al., 2014) |
| <i>Leporinus elongatus</i> ♀ | Ovopel® | 0,2 pellete /kg | (PEREIRA et al., 2018) |
| <i>Leporinus macrocephalus</i> ♀ | EHC | 0,6 e 5,4 mg/kg** | (PEREIRA et al., 2017) |
| <i>Leporinus obtusidens</i> ♂ | gonadorrelina | 60 µg/kg | (BERNARDES JÚNIOR et al., 2017) |

*Os autores sugerem estudos para essa espécie com novas dosagens de mGnRHa devido a um provável efeito tóxico percebido nesse trabalho. O símbolo ♂ representa animais machos e ♀ as fêmeas.

** Primeira e segunda dosagem, respectivamente, com intervalo de 24 horas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo contínuo sobre protocolos de indução de espécies de peixes reofílicas é importante para otimizar os protocolos de indução, bem como reduzir os custos de produção com a desova. Para isso, torna-se essencial o conhecimento sobre a fisiologia da reprodução das espécies trabalhadas, além da atuação dos protocolos no eixo endócrino reprodutivo de machos e fêmeas. Ainda considerando o grande número de espécies de importância para a piscicultura brasileira, ampliar a utilização de hormônios sintéticos pode facilitar a aquisição e acesso dos produtores aos hormônios utilizados.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Mariana Roza. **Maturação gonadal e seleção de fêmeas de Suruvi (*Steindachneridion scriptum*) em condições de cativeiro.** Repositório Institucional UFSC, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/135656> Acesso em: 23/11/2021
- ALMEIDA, F. L. **Endocrinologia aplicada na reprodução de peixes.** Revista Brasileira de Reprodução Animal, Belo Horizonte, v. 37, n. 2, p. 174-180, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/958954> Acesso em: 07/11/2021
- ANDRADE, Dalcio Ricardo. O manejo da reprodução natural e artificial e sua importância na produção de peixes no Brasil. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.27, n.2, p.166-172, abr./jun., 2003.

Anuário 2023. Peixe BR da Piscicultura. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/Anuario2023/AnuarioPeixeBR2023.pdf> Acesso em: 03/08/24

ARAÚJO, J. Ê. X. S. *et al.* Ovopel and carp pituitary extract as spawning inducers in males of the Amazon catfish *Leiarius marmoratus* (Gill, 1970). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 57, n. 6, p. 882–886, 2014.

BALDISSEROTTO, Bernardo. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2ª edição. UFSM, 2013. Disponível em: <https://editoraufsm.com.br/especies-nativas-para-a-piscicultura-no-brasil-2ed.html> Acesso em: 07/11/2021

BERNARDES JÚNIOR, J. J.; BOMBARDELLI, R. A.; NUÑER, A. P. DE O. Gonadorelin increases semen production and does not affect its quality in *Leporinus obtusidens*. **Animal Reproduction Science**, v. 185, n. May, p. 154–160, 2017.

BOBE, J.; LABBÉ, C. Egg and sperm quality in fish. **General and Comparative Endocrinology**, v. 165, n. 3, p. 535–548, 2010.

BOMBARDELLI, R. A.; SANCHES, E. A. Hormônio liberador de gonadotrofinas em peixes: aspectos básicos e suas aplicações. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia**, v.9, n. 01, p. 59–65, 2006.

CALDAS, J. S. *et al.* Effects of hormonal treatment on induced spermiation and semen quality in the endangered Amazonian fish *Hypancistrus zebra* (Siluriformes, Loricariidae). **Aquaculture**, v. 533, n. May, 2021.

CHATTORAJ, A. *et al.* Melatonin accelerates maturation inducing hormone (MIH): Induced oocyte maturation in carps. **General and Comparative Endocrinology**, v. 140, n. 3, p. 145–155, 2005.

DALMASS, F. H. **Guia de Indução hormonal de peixes reofilicos**. Curitiba: Instituto GIA, 2016. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/wp-content/uploads/2013/12/Reproducao.pdf>. Acesso em: 07/11/2021

FILHO, Evoy Zaniboni. **Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores**. Rev Bras Reprod Anim, Belo Horizonte, v.31, n.3, p.367-373, jul./set. 2007. Disponível em: <http://www.cbpa.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/367.pdf> Acesso em: 07/11/2021

GANECO, Luciana Nakaghi; Nakaghi, Laura Satiko Okada. **Morfologia da micrópila e da superfície dos ovócitos de piracanjuba, Brycon orbignyanus (Osteichthyes, Characidae), sob microscopia eletrônica de varredura**. Acta Scientiarum - Biological Sciences, v. 25, n. 1, p. 227-231, 2003. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwjklNXHwYf0AhVprJUCHaVJDmcQFnoECAIQAAQ&url=https%3A%2F%2Fperiodicos.ue>

m.br%2Fojs%2Findex.php%2FActaSciBiolSci%2Farticle%2Fdownload%2F2097%2F1550%2F&usg=AOvVaw2dXoXQxr02rCRI7ZZt4GHq Acesso em: 03/11/2021

HARVEY & CAROLSFELD. Induced Breeding in Tropical Fish Culture. International Development Research Centre, 1993. Disponível em:
https://books.google.com.br/books/about/Induced_Breeding_in_Tropical_Fsh_Cultur.html?i=d=ZOIJAAAAYAAJ&redir_esc=y Acesso em: 07/11/2021

HONJI, R. M. Controle neuroendócrino da ovogênese em peixes teleósteos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v.41, n.1. p. 86–93, 2017.

SOUTO, C. N. *et al.* Visão geral sobre reprodução de peixes teleósteos: da anatomia à sinalização, **Pubvet**, v.11, n.11 p. 1175–1187, 2017.

MAITRA, S. K. *et al.* General and Comparative Endocrinology Melatonin: A potent candidate in the regulation of fish oocyte growth and maturation q. **General and Comparative Endocrinology**, v. 181, p. 215–222, 2013.

MARTINS, E. DE F. F. *et al.* Ovopel and carp pituitary extract for the reproductive induction of *Colossoma macropomum* males. **Theriogenology**, v. 98, p. 57–61, 2017.

MIURA, T. *et al.* Spermatogenesis-preventing substance in Japanese eel. **Development**, v. 129, n. 11, p. 2689–2697, 1 jun. 2002.

MYLONAS, C. C.; DUNCAN, N. J.; ASTURIANO, J. F. Hormonal manipulations for the enhancement of sperm production in cultured fish and evaluation of sperm quality. **Aquaculture**, v. 472, p. 21–44, 2017.

MYLONAS, C. C.; FOSTIER, A.; ZANUY, S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. **General and Comparative Endocrinology**, v. 165, n. 3, p. 516–534, 2010.

NAVARRO, R. Importância do fotoperíodo no crescimento e na reprodução de peixes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 36, n. 2, p. 94–99, 2012.

ÓRFÃO, L. H. **Indução da desova e espermição de peixes em criações comerciais**. *Rev. Bras. Reprod. Anim.*, Belo Horizonte, v.37, n.2, p.192-195, abr./jun. 2013. Disponível em:
[http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/v37n2/pag192-195%20\(RB464\).pdf](http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/v37n2/pag192-195%20(RB464).pdf)
Acesso em: 07/11/2021

PEIXES NO BRASIL. *Rev. Bras. Reprod. Animal*, v.27, n.2, p.166-172, abr./jun., 2003. Disponível em:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5833286/mod_resource/content/1/O_Manejo_Da_Reproducao_Natural_e_Artific.pdf Acesso em: 07/11/2021

- PEREIRA, T. S. B. *et al.* Leporinus elongatus induced spawning using carp pituitary extract or mammalian GnRH analogue combined with dopamine receptor antagonists. **Animal Reproduction**, v. 15, n. 1, p. 64–70, 2018.
- PEREIRA, T. S. B. *et al.* The use of mGnRH α provokes ovulation but not viable embryos in Leporinus macrocephalus. **Aquaculture International**, v. 25, n. 2, p. 515–529, 2017.
- RIZZO, E., BAZZOLI, N., 2014. Reprodução e embriogênese. *In*: Baldisserotto, B., Possebon, J.E., Criscuolo, E. (Eds.), *Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce*. FUNEP, pp. 265- 284.
- ROZA DE ABREU, M. *et al.* Reproductive performance of lambari (*Astyanax altiparanae*) in a seminatural system using different protocols. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 2, p. 471–483, 2021.
- SCHULZ, R. W. *et al.* Spermatogenesis in fish. **General and Comparative Endocrinology**, v. 165, n. 3, p. 390–411, 2010.
- SOUZA, F. N. *et al.* Ovopel[®] and carp pituitary extract for induction of reproduction in *Colossoma macropomum* females. **Animal Reproduction Science**, v. 195, n. April, p. 53–57, 2018.
- ZOHAR, Y.; MYLONAS, C. C. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. **Aquaculture** v. 197, p. 99–136, 2001.

ACESSIBILIDADE ENTRE EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO SOBRE A APLICABILIDADE DA NBR 9050 NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, EM ANGICOS/RN

ACCESSIBILITY BETWEEN BUILDINGS: A CASE STUDY ON THE APPLICABILITY OF NBR 9050 AT THE FEDERAL RURAL UNIVERSITY OF THE SEMI-ARID, IN ANGICOS/RN

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-31

Thalita Dayane de Melo Mendes Sabino¹
Maria de Lourdes Xavier de França Neta¹
Ueslei Silva Nunes²
Artur Vinícius Cruz Araújo³
Vitor Figueiredo de Sousa Ciríaco³

¹ Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

² Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

³ Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

RESUMO

As Instituições de Ensino Superior e Escolas oferecem vagas para todas as pessoas, mas, nem sempre disponibilizam as condições necessárias para que os seus usuários possam usufruir de suas instalações. Diante da problemática existente na permanência das pessoas com deficiência (PCD) nas instituições por falta de acessibilidade, o presente trabalho tem o objetivo de realizar um estudo de caso sobre a aplicação da Norma Brasileira de Acessibilidade NBR 9050 (2020) na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Angicos/RN. A caracterização do local foi feita através de visitas técnicas, análise de projetos, registros fotográficos e análises fundamentadas pela ABNT NBR 9050 (2020). Durante o estudo, foi possível constatar que 65% dos acessos existentes entre suas edificações estavam em desacordo com a ABNT NBR 9050 (2020), o que a caracteriza como ambiente excludente. Essa constatação guiou a construção de um projeto de passarelas acessíveis e cobertas como solução simples para permitir que todas as pessoas possam se locomover de forma segura e independente entre seus edifícios.

Palavras-chave: Acessibilidade. Deficiência. IES. NBR 9050.

ABSTRACT

Higher Education Institutions and Schools offer opportunities for all individuals, but they do not always provide the necessary conditions for their users to fully utilize their facilities. Given the existing issues concerning the retention of people with disabilities (PWD) in institutions due to a lack of accessibility, this study aims to conduct a case study on the application of the Brazilian Accessibility Standard NBR 9050 (2020) at the Federal Rural University of the Semi-Arid, in Angicos/RN. The characterization of the site was conducted through technical visits, project analysis, photographic records, and analyses based on ABNT NBR 9050 (2020). During the study, it was found that 65% of the access routes between buildings did not comply with ABNT NBR 9050 (2020), thus characterizing the environment as exclusionary. This finding guided the development of a project for accessible and covered walkways as a simple solution to enable all individuals to move safely and independently between buildings.

Keywords: Accessibility. Deficiency. HEI. NBR 9050.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório Mundial sobre a Deficiência da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011), mais de um bilhão de pessoas apresentam algum tipo de deficiência. No Brasil, dados do IBGE (2023) indicam que o país possui aproximadamente 19 milhões de pessoas com deficiência com idade a partir de dois anos, o que representa cerca de 10% da sua população. Ainda de acordo com esse estudo, a maioria das pessoas com deficiência, apresentam perspectivas de vida inferiores às pessoas sem deficiência, levando em consideração fatores como saúde, níveis de escolaridade, participação econômica, além de taxas de pobreza mais elevadas.

Historicamente, o termo “Acessibilidade” surgiu em 1940, mas, no Brasil, as discussões relacionadas às políticas públicas sobre as pessoas com deficiência é um assunto recente. Somente no ano 2000 foram regulamentadas leis que contemplam o tema Lei nº 10.048, de 8 de novembro de 2000 e Lei nº 10.098, de dezembro de 2000 (Brasil, 2000; Brasil, 2000).

No ano de 2004 foi elaborada a Norma de Acessibilidade pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - a NBR 9050 -, que estabelece “os critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade” (NBR 9050, 2020). Nessa perspectiva, um bom projeto arquitetônico passa a ter fundamental importância na construção de uma sociedade inclusiva, seguindo o conceito de acessibilidade para todos como condição para boa qualidade de vida (Barros, 1999).

O censo realizado em 2019 apontou um crescimento de 11,20% no ingresso de estudantes com deficiência nos cursos de ensino superior em relação ao ano anterior. Além disso, apresentou a deficiência física, baixa visão e deficiência auditiva com as mais comuns entres esses estudantes (INEP, 2023).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo verificar a aplicação da norma de acessibilidade nos acessos que interligam os prédios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos/RN e propor as medidas de adequação necessárias para proporcionar um acesso democrático e seguro aos seus usuários.

Salienta-se que este estudo sobre a acessibilidade de edificações foi conduzido em 2014, nos anos iniciais da instalação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) na cidade de Angicos/RN. Registrar as condições de acessibilidade das edificações ao longo

dos anos é fundamental não apenas para avaliar o cumprimento das normas vigentes, mas também para construir um importante registro histórico. Esse registro serve como uma base documental que permite acompanhar o progresso ou identificar lacunas no desenvolvimento de um ambiente verdadeiramente inclusivo. Assim, este trabalho adquire relevância tanto por sua contribuição imediata para a melhoria das condições de acessibilidade quanto por seu papel na preservação da memória institucional, fornecendo subsídios para futuras avaliações e intervenções

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos/RN (Figura 1). A estrutura física do Campus foi entregue para os usuários em 2011 e, ao longo dos anos tem passado por expansão física. Atualmente, conta com sete cursos de graduação (Bacharelado em Sistemas de Informação, Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Licenciatura em Computação, e Licenciatura em Pedagogia).

Figura 1: Campus UFERSA Angicos/RN



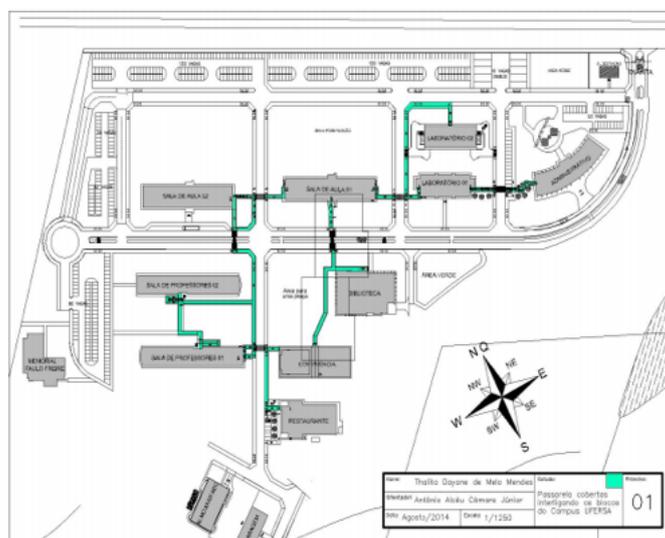
Fonte: Assecom

2.2. VISTORIA TÉCNICA

Para obtenção dos dados, foram realizadas vistorias técnicas para a realização através de registros fotográficos e aferição das dimensões e declividades das rampas e escadas, além

da inspeção visual de elementos como corrimão, piso tátil e demais sinalizações necessárias à acessibilidade. Os dados obtidos foram comparando com o previsto na ABNT NBR 9050:2020.

Figura 2: Representação dos trechos analisados



Fonte: Autoria Própria.

Após a vistoria técnica, foram propostas medidas de adequação para garantir que os trechos estejam em conformidade com especificações da norma ABNT NBR 9050:2020. As adequações foram indicadas em planta baixa por cada trecho analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para exemplificar as análises de cada acesso entre os prédios da instituição, o estudo foi dividido em trechos contendo as imagens, descrição do local e sugestões de adequação, com posterior representação em planta baixa.

3.1. TRECHO 1: ENTRE O BLOCO ADMINISTRATIVO E O BLOCO DO LABORATÓRIO I.

A Figura 3 (a) e (b) ilustram, respectivamente, a rampa que dá acesso ao Bloco Administrativo e o nível do Laboratório I.

Figura 3: (a) Bloco Administrativo e (b) Lateral Direita do laboratório I.



Fonte: Autoria Própria.

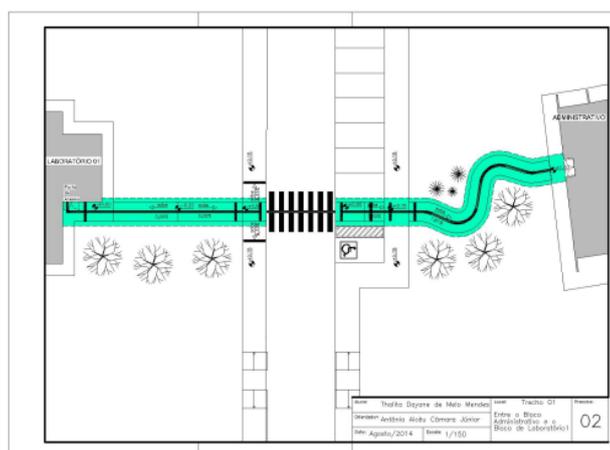
(a)

Fonte: Autoria Própria.

(b)

A rampa de acesso ao Bloco Administrativo apresenta uma declividade de 8,95% e um degrau de 30 cm, ambos fora dos padrões da NBR 9050:2020, que estabelece uma declividade máxima de 8,33% e altura de degraus entre 16 e 18 cm. Como solução, sugere-se a criação de uma rampa com declividade de 7,81%, exigindo uma extensão de 18,62 m, conforme Figura 4. Além disso, o Bloco de Laboratório 1, que está 16 cm abaixo do nível da calçada, requer uma rampa com 3% de declividade para conectá-lo à calçada, também mostrado na Figura 4.

Figura 4: Readequação para o Trecho 1



Fonte: Autoria Própria.

3.2. TRECHO 2: ENTRE A LATERAL ESQUERDA DO BLOCO DE LABORATÓRIO 1 E A LATERAL DIREITA DO BLOCO DE SALAS 1.

A Figura 5 (a) e (b) ilustram, respectivamente, o nível do entorno da lateral esquerda do Laboratório I e a rampa de acesso até a escada de entrada do Bloco de Salas I, respectivamente.

Figura 5: (a) Lateral Esquerda do Bloco de Laboratório (b) Lateral direita do Bloco de Salas.



Fonte: Autoria Própria.

(a)

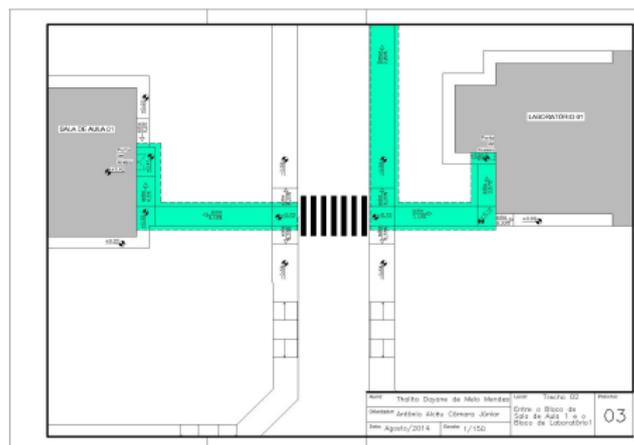


Fonte: Autoria Própria.

(b)

A lateral esquerda do Laboratório 1 está 58 cm acima da calçada. Assim, propõe-se a criação de uma rampa em "L" com declividades de 3,57% e 7,13% para conectar o contorno à calçada (Figura 5a). Embora a rampa de acesso à escada de entrada do Bloco de Salas 1 tenha uma declividade de 3,14% dentro dos parâmetros da NBR 9050:2020, os degraus na entrada impedem a mobilidade de cadeirantes. Além disso, foi observada a ausência de corrimão e piso tátil de alerta na região dos degraus (Figura 5b). Sugere-se, portanto, a criação de uma rampa em "L" com declividades de 6,5% e 8,18%, conectando-a à calçada mais próxima, conforme Figura 6.

Figura 6: Sugestão para o Trecho 2



Fonte: Autoria Própria.

3.3. TRECHO 3: ENTRE O BLOCOS DE LABORATÓRIO 1 E 2

A (Figura 7a) e (Figura 7b) ilustram o deslocamento da calçada entre os Blocos de Laboratórios 1 e 2 e desnível na Entrada de Laboratório 2, respectivamente.

Figura 7: (a) Bloco de Laboratórios 1 e 2 (b) Entrada de Laboratórios 2



Fonte: Autoria Própria.

(a)



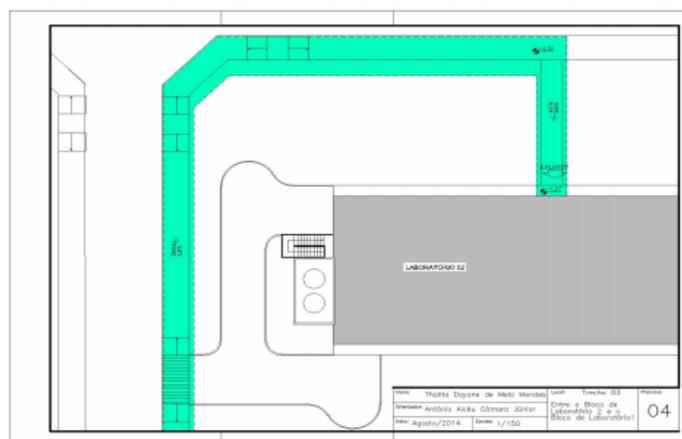
Fonte: Autoria Própria.

(b)

O deslocamento apresentado (Figura 1a) pela calçada através do levantamento topográfico, foi considerado acessível, por apresentar uma largura adequada e por possuir uma declividade de 2,8%. Em relação a entrada do Laboratório 2 (Figura 7b), existe um desnível de 1,05 m em referência à calçada mais próxima.

Desta forma, a sugestão de adequação indicada (Figura 8) foi a criação de uma rampa com declividade de 8,2% para interligar a calçada a este bloco de laboratório. A rampa deve possuir corrimãos duplos com altura de 70 e 92 cm, e piso tátil de alerta e direcional, conforme ABNT NBR 9050:2020.

Figura 8. Sugestão para Trecho 2.



Fonte: Autoria Própria.

3.4. TRECHO 4: ENTRE O BLOCOS DE SALAS DE AULA 1 E 2.

A Figura 9a, Figura 9b e Figura 9c apresentam os trechos referentes aos Blocos de Salas de Aula 1 e 2.

Figura 9: (a) Lateral esquerda do Bloco de Salas 1, (b) Escada de Acesso ao Bloco de Salas, (c) Rampa lateral esquerda do Bloco de Salas



Fonte: Aatoria Própria.

(a)



Fonte: Aatoria Própria.

(b)



Fonte: Aatoria Própria.

(c)

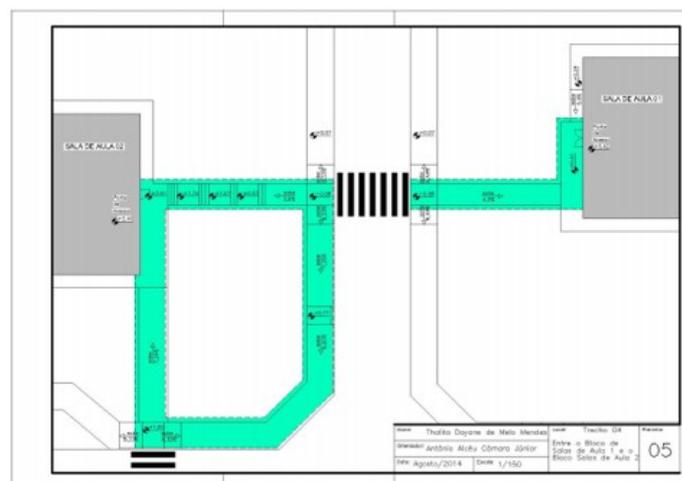
A rampa de acesso à entrada lateral esquerda do Bloco de Sala de Aula 1 possui declividade de 4,48%, em conformidade com a NBR 9050:2020, mas o degrau na entrada (Figura 9a) é um obstáculo para cadeirantes, além da falta de piso tátil de alerta e direcional. Desse modo, recomenda-se a criação de uma rampa com declividade de 4,3%, conectando o

bloco à calçada, e a instalação de piso tátil e corrimãos duplos com alturas de 70 e 92 cm (Figura 10).

A escada de acesso ao Bloco de Salas 2 (Figura 9b) não possui piso tátil de alerta, e apresenta corrimão em desacordo com a NBR 9050:2020. Embora a largura da escada de 150 cm esteja de acordo com a norma, sugere-se uma melhor distribuição dos degraus e a adequação dos corrimãos para seção circular ou elíptica, conforme a norma.

A rampa de acesso à lateral esquerda do Bloco de Salas 2 (Figura 9c) tem uma declividade de 7,3%, mas carece de corrimão e piso tátil de alerta. Além disso, o estreitamento da passagem de 2,60 m para 1,05 m a torna facilita a ocorrência de acidentes. A solução proposta inclui a instalação de três corrimãos e o alargamento da circulação para 2,50 m, alinhando-a com a rampa (Figura 10).

Figura 10: Readequação para o trecho 4.



Fonte: Autoria Própria.

3.5. TRECHO 5: ENTRE O BLOCO DE SALAS DE PROFESSORES 2 E BLOCO DE SALAS DOS PROFESSORES 1.

A calçada que liga o Bloco de Salas de Professores 2 e o Bloco de Salas de Professores 1, são apresentados, respectivamente, nas (Figura 11a) e (Figura 11b).

Figura 11: (a) Calçada entre o Bloco de Salas de Aula 2 e Bloco dos Professores 2 (b) Bloco de Salas de Professores 1.



Fonte: Autoria Própria.
(a)



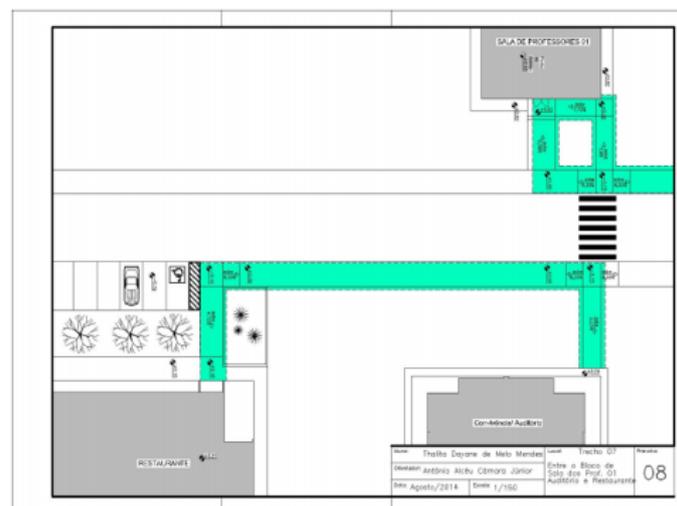
Fonte: Autoria Própria.
(b)

A calçada que liga o Bloco de Salas de Professores 2 e o Bloco de Salas de Professores 1 (Figura 11a) possui uma declividade de 2,1%.

O acesso de entrada do bloco de Salas dos Professores 1 possui uma rampa com declividade de 3,34%, mas, este mesmo acesso possui uma escada com dois degraus que, apesar de possui espelho de 17 cm e largura de 2,95 m, e não possui piso tátil de alerta (Figura 11b). Além disso, a existência do degrau é um obstáculo, principalmente, para os usuários de cadeiras de rodas.

A medida de adequação sugerida para este trecho foi a criação de uma rampa em “L” com declividades de 7,2% e 7,8% com largura de 1,80 m, e a instalação de piso tátil de alerta no início e final da rampa, como apresentado na (Figura 12).

Figura 12: Readequação para o trecho 5.



Fonte: Autoria Própria

3.6. TRECHO 6: ENTRE O BLOCO DE PROFESSORES 2 E BLOCO DE SALAS DOS PROFESSORES 1.

A Figura 13a e a Figura 13b ilustram, respectivamente, a rampa e a escada do Bloco de Salas dos Professores 1.

Figura 13: Rampa e escada da entrada Principal do Bloco de Salas dos Professores 1.



Fonte: Autoria Própria.
(a)



Fonte: Autoria Própria.
(b)

A rampa da entrada principal do Bloco dos Professores 1 (Figura 13a) possui uma declividade de 7,95% e está de acordo com os parâmetros estabelecidos na NBR 9050:2020.

Os corrimãos possuem uma altura de 93 cm na empunhadura superior e 72 cm na inferior e difere do especificado na norma. O diâmetro do corrimão mede 4,5 cm e está em conformidade com a NBR 9050.

A escada (Figura 13b) desse trecho possui degraus com espelhos de 15 cm e, quando a norma especifica um limite entre 16 e 18 cm. Os corrimãos possuem uma altura de 93 cm na empunhadura superior e 72 cm na empunhadura inferior, e difere da NBR 9050. possui uma declividade de 4,65% e corresponde aos parâmetros estabelecidos na NBR 9050:2020, mas não possui corrimão.

A sugestão dada para este trecho foi o ajuste da altura dos corrimãos para 70 e 92 cm. Ajuste dos espelhos das escadas para que tenham entre 16 e 18 cm, a instalação de piso tátil de alerta no início e final da escada, e a altura dos corrimãos inferior e superior para 70 e 92 cm, respectivamente.

A rampa do Bloco de Salas dos Professores 2 (Figura 14) possui uma declividade de 4,65%, estando em conformidade com a NBR 9050:2020. No entanto, não possui corrimão. Além disso, os degraus da escada da entrada central possuem alturas irregulares que variam entre 14 e 23 cm, não atendendo a norma.

Desta forma, é necessário a “quebra” da rampa no seu trecho central para a implantação de um patamar dando continuidade à rampa com a mesma declividade.

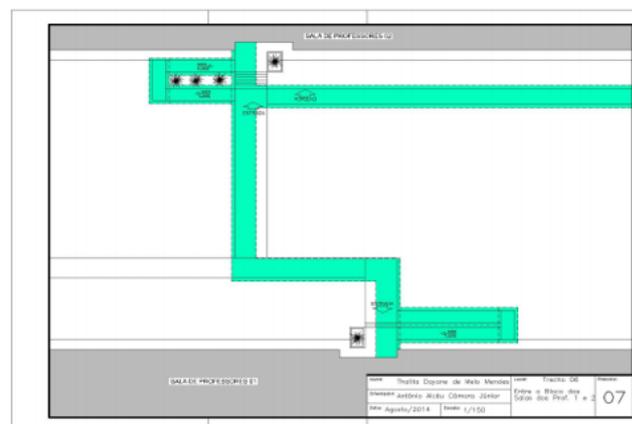
Para a escada, foi sugerida a padronização dos espelhos da escada com instalação de piso tátil de alerta no início e final da escada, e instalação de corrimãos duplos com alturas de 70 e 92 cm.

Figura 14: Entrada Principal do Bloco de Salas dos Professores 2 – Rampa.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Sugestão para o trecho 6.



Fonte: Autoria Própria.

3.7. TRECHO 7: ENTRE O CENTRO DE CONVIVÊNCIA E A BIBLIOTECA.

A Figura 16a e Figura 16b apresentam os trechos referentes a Rampa de acesso do centro de vivência e Biblioteca, respectivamente.

Figura 16: (a) Rampa Centro de Convivência. (b) Rampa de acesso à Biblioteca.



Fonte: Autoria Própria.
(a)



Fonte: Autoria Própria.
(b)

Ao sair do Centro de Convivência (Figura 24), nos primeiros 7,21 m, a rampa possui uma declividade de 8,42% que é inadequada de acordo com NBR 9050:2020.

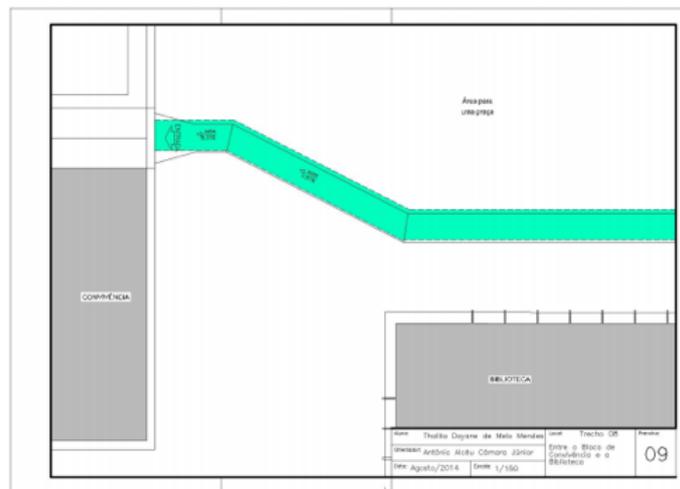
Após os primeiros 7,21 m iniciais da rampa, foi verificada a declividade nos 18,24 m posteriores, que é 2,87% e está em conformidade com a norma. O trecho posterior aos 21,11 iniciais até a calçada mais próxima foi considerado plano, através das medições feitas no local.

A rampa que dá acesso à Biblioteca (Figura 16b) possui uma declividade de 1,67% e largura de 3 m. O corrimão duplo da rampa possui alturas de 70 e 97,5 cm, e diâmetro de \emptyset 3,5 cm, em desconformidade com a norma.

No acesso ao centro de convivência foi sugerido para todo o trecho prolongar o comprimento da rampa em, pelo menos, 20 cm para que a declividade máxima não ultrapasse 8,33%, como indicado na (Figura 17). Além disso, devem ser instalados pisos táteis de alerta no início e final da rampa.

A recomendação sugerida para o acesso à biblioteca foi a diminuição da segunda altura do corrimão em 5,5 cm, para obter os 92 cm recomendados por norma, além da inserção de pisos táteis de alerta no início e final da rampa.

Figura 17: Sugestão para o Trecho 7.



Fonte: Autoria Própria.

3.8. TRECHO 8: ENTRADA CENTRAL DO BLOCO DE SALAS DE AULA 1.

A rampa da entrada Central do Bloco de Salas de Aula 1 (Figura 17) possui 2,70 m de largura. Nos primeiros 6,75 m a rampa possui uma declividade de 4%, nos 6,80m, 5,15%, e nos últimos 3,65 m de seu comprimento 8,25%.

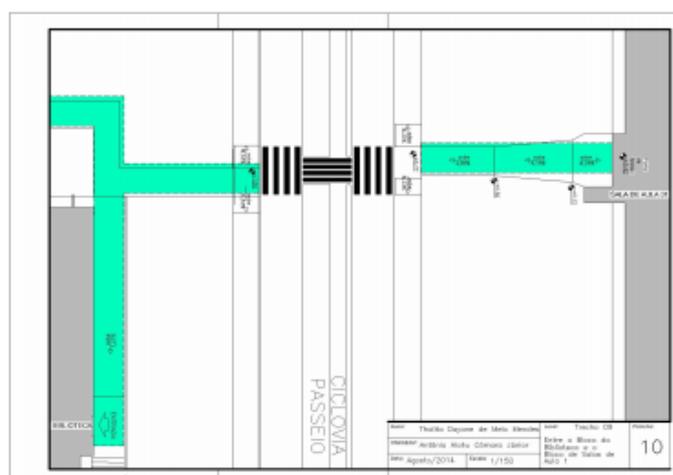
A sugestão para o trecho foi a inserção de piso tátil de alerta no início e final da rampa, e corrimãos duplos com alturas de 70 e 92 cm.

Figura 18: Entrada Central do Bloco de Salas de Aula 1.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 19: Sugestão para o Trecho 8.



Fonte: Autoria Própria.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou os a acessibilidade entre os prédios contidos no Campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido nos seus primeiros anos de funcionamento. Com base nos dados obtidos, foi possível verificar que todos os trechos analisados apresentaram inconformidades com a NBR 9050:2020. As principais inconformidades encontradas foram:

- Ausência de piso tátil de alerta e direcional em 100% dos trechos;
- Inadequação em todos os corrimãos existentes;
- Declividade superior ao estabelecido pela NBR 9050:2020 em 25% dos trechos analisados;
- 50% das rampas apresentavam degraus isolados em seu topo, interrompendo a locomoção de pessoas com cadeiras de rodas.

Esses resultados indicam que a disposição dos acessos na instituição, na época analisada, não contemplava adequadamente as necessidades das pessoas com deficiência, comprometendo sua mobilidade e segurança. Portanto, é imprescindível a implementação das modificações apontadas neste estudo para garantir que as edificações sejam acessíveis e seguras para todos os seus usuários, além de estar em conformidade com as normas e a legislação vigente. A realização dessas melhorias não é apenas uma obrigação legal, mas também um passo fundamental para a promoção da inclusão e da igualdade de acesso em todos os espaços da universidade.

Estudos futuros podem explorar a continuidade da análise da acessibilidade no campus da UFERSA em Angicos ao longo dos anos, permitindo um registro histórico detalhado das

mudanças e melhorias implementadas. Essa abordagem longitudinal possibilitaria não apenas avaliar o progresso na adequação das edificações às normas de acessibilidade, mas também identificar novos desafios que possam surgir com o tempo.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.

ARAÚJO, Luiz Alberto David; FILHO, Waldir Macieira da Costa. A LEI 13.146/2015 (O ESTATUTO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA OU A LEI BRASILEIRA DE INCLUSÃO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA) E SUA EFETIVIDADE. *Direito E Desenvolvimento*, 7(13), 12 - 30. Disponível em: <https://doi.org/10.26843/direitoedesenvolvimento.v7i13.298>. Acesso em: 06 ago. 2021.

BARROS, C. M. de. Casa Segura: uma arquitetura para maturidade. In: *Seminários Regionais: espaços especiais, Como projetá-los*. Recife: ABD, 1999.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). *Censo da Educação Superior 2022: notas estatísticas*. Brasília, DF: Inep, 2023.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm. Acesso em: 2 de julho de 2019.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10048.htm. Acesso em: 2 de julho de 2019.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 2 de julho de 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda*. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>>. Acesso em: 20 out. 2023.

_____. (2021) *Políticas públicas levam acessibilidade e autonomia para pessoas com deficiência*. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/assistencia-social/2021/09/politicas-publicas-levam-acessibilidade-e-autonomia-para-pessoas-com-deficiencia>>. Acesso em: 20 out. 2023.

MANZINI, E. J. (org) – *Inclusão e Acessibilidade*. Marília. ABPEE. 2006.

NOGUEIRA, C. M. A história da deficiência: Tecendo a história da assistência a criança deficiente no Brasil. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <http://www.apaebrasil.org.br/arquivo.phtml?a=12605>. Acesso em: 11 abr. 2014.

PACHECO, Eliezer Moreira. Os Institutos Federais: uma revolução na educação profissional e tecnológica. 2010.

SANTOS, Camila Elidia Messias dos. Da infraestrutura física às práticas pedagógicas: Desafios da escola frente ao aluno público-alvo da educação especial. 2019.

SASSAKI, Romeu Kazumi (2004). "Acessibilidade: Uma chave para a inclusão social". Disponível em: <http://www.lainsignia.org/2004/junio/soc_003.htm>. Acesso em: 01 mai. 2014.

_____. (2005) "Conceito de Acessibilidade". Disponível em: <<http://www.bengalalegal.com/romeusassaky.php>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Relatório mundial sobre a Deficiência: São Paulo: OMS, 2011. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/70670/WHO_NMH_VIP_11.01_por.pdf?sequence=9. Acesso em 20 de out. 2023.

CAPÍTULO XXXII

CARACTERIZAÇÃO DAS ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DA CASCA E COROA DO ABACAXI

CHARACTERIZATION OF DESORPTION ISOTHERMS OF PINEAPPLE PEEL AND CROWN

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-32

João Paulo Dantas de Carvalho ¹

¹ Professor do Departamento de Agrárias e Ambiental Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

RESUMO

Resíduos sólidos de abacaxi (casca e coroa) têm obtido interesse em pesquisa devido ao considerável volume produzido e presença de substâncias com grande variedade de aplicações. A elevada umidade do resíduo, principalmente a casca, torna necessária a sua secagem antes de um possível aproveitamento, no entanto, a qualidade e a vida útil dos pós dependem de seus teores de água e da maneira como está se encontra ligada ao alimento. O comportamento higroscópico de alimentos em pó pode ser avaliado por meio de suas isotermas de sorção. Objetivou-se com esse trabalho, determinar as isotermas de desorção de resíduos do abacaxi e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais obtidos pelo método gravimétrico estático e verificar a possibilidade de utilização de um único modelo. O intervalo de teor de umidade estudado variou entre 0,083 e 1,265 g de H₂O/g de matéria seca e 0,079 e 1,790 H₂O/g de matéria seca, para casca e coroa, respectivamente, enquanto a atividade de água variou entre 0,079 e 0,914 para casca e 0,106 e 0,921 para coroa. Aos dados experimentais foi avaliado o ajuste dos modelos de GAB e BET linearizado, por meio do coeficiente de determinação e do desvio médio relativo. Segundo os parâmetros estatísticos de análise, o modelo de GAB foi o que descreveu melhor a higroscopicidade dos resíduos do abacaxi.

Palavras-chave: Resíduos do abacaxi. Isotermas de Sorção. Atividade de Água.

ABSTRACT

Pineapple solid waste (peel and crown) has attracted research interest due to the considerable volume produced and the presence of substances with a wide variety of applications. The high moisture content of the waste, especially the peel, makes it necessary to dry it before possible use. However, the quality and shelf life of the powders depend on their water content and the way in which this is bound to the food. The hygroscopic behavior of powdered foods can be evaluated through their sorption isotherms. The objective of this work was to determine the desorption isotherms of pineapple waste and to adjust mathematical models to the experimental data obtained by the static gravimetric method and to verify the possibility of using a single model. The moisture content range studied varied between 0.083 and 1.265 g H₂O/g dry matter and 0.079 and 1.790 H₂O/g dry matter, for peel and crown, respectively, while water activity varied between 0.079 and 0.914 for peel and 0.106 and 0.921 for crown. The adjustment of the GAB and linearized BET models to the experimental data was evaluated by means of the coefficient of determination and the relative mean deviation. According to the statistical analysis parameters, the GAB model was the one that best described the hygroscopicity of the pineapple residues.

Keywords: Pineapple residues. Sorption isotherms. Water activity.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de abacaxi ressaltando-se, como os principais, os estados da Paraíba, Pará e Minas Gerais. Brito Neto et al. (2008) afirmam que as condições brasileiras para a produção deste fruto visando aos mercados interno e externo, lhes asseguram vantagens comparativas em relação aos países concorrentes devido ao clima favorável, grande disponibilidade de área e de tecnologias.

O abacaxi é utilizado tanto para o consumo in natura quanto na industrialização, em diferentes formas: pedaços em calda, suco, pedaços cristalizados, geleias, licor, vinho, vinagre e aguardente. Como subproduto desse processo industrial pode-se obter ainda: álcool, ácidos cítrico, málico e ascórbico e rações para animais e com isso cresce a geração de resíduo que será disponibilizado pela agroindústria processadora do fruto.

O resíduo industrial, depois de gerado, necessita de destino adequado, pois não pode ser acumulado indefinidamente no local em que foi produzido. A crescente preocupação com o meio ambiente incentiva a viabilização de projetos que levam à sustentabilidade do sistema de produção industrial. A indústria de alimentos produz uma série de resíduos com alta capacidade de reutilização. Com isto, minimiza-se o impacto ambiental desses tipos de indústria na região em que estão situadas e ainda se agrega valor aos produtos do mercado (Pelizer et al., 2007).

No entanto, o que limita a utilização destes resíduos é o seu alto teor de umidade. Sendo assim, a secagem representa uma alternativa para a preservação e aproveitamento alimentício da casca e coroa da indústria processadora de abacaxi.

De acordo com Heldman & Hartel (2000) quando um produto alimentício é submetido a secagem tanto seu teor de umidade como a atividade de água se alteram ao longo do processo devido à relação entre o teor de umidade de equilíbrio do produto e a umidade relativa do ar. Portanto, o estudo desses parâmetros é de grande importância para o desenvolvimento de um processo de secagem haja vista que especifica o teor de umidade do alimento, que pode ser atingido sob condições de ar de secagem específico.

O conhecimento das isotermas de sorção de umidade dos alimentos tem aplicação na predição do tempo de secagem, vida útil do produto, determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (Alexandre et al., 2007). Elas são obtidas a partir de dados de

adsorção (ganho de umidade) e dessorção (perda de umidade), respectivamente; mas podem ser preditas através de modelos matemáticos classicamente utilizados com essa finalidade, amplamente encontrados na literatura (Akanbi et al., 2006; Assunção & Pena, 2007; Furmaniak et al., 2007).

Vários pesquisadores têm estudado o comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas que descrevem modelos matemáticos distintos para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (Sousa et al., 2013).

Ante a importância do conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas objetivou-se, neste trabalho, determinar as isotermas de dessorção dos resíduos de abacaxi (casca e coroa) para diversas condições de temperatura e atividades de água e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais selecionando-se aquele que melhor representa o fenômeno.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada no estudo foi o resíduo (casca e coroa) do abacaxi pérola (*Ananas comosus* L.); o fruto foi adquirido na EMPASA na cidade de Campina Grande, PB. No laboratório o resíduo (casca e coroa) foi separado da polpa em seguida acondicionado em sacos de polietileno e só então armazenado em freezer a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento de ser utilizado nos experimentos.

Teor de umidade: Foi determinado conforme descrito por BRASIL (2005) em estufa a 105°C até peso constante.

Atividade de água: Para o levantamento dos dados das isotermas de dessorção do resíduo do abacaxi foi utilizado o equipamento Thermoconstanter Novasina TH200. Este equipamento é projetado para a medida de atividade de água (a_w) com a temperatura controlada. No aparelho um sensor mede a atividade de água à temperatura indicada de pequenas amostras e o transmissor RTD-20 converte os sinais da célula de medição, indicando os valores medidos de a_w e de temperatura diretamente no mostrador.

Isotermas de dessorção: As isotermas de dessorção foram determinadas por meio do método estático indireto. Para isso, 2,0 g de amostra foram pesados em recipiente apropriado e secos por diferentes períodos em estufa com circulação forçada de ar, a 55°C , de modo a obter valores de teor de umidade e de atividade de água dispostos em todo o intervalo estudado. Após cada período de secagem foi determinada a atividade de água, em triplicata,

utilizando o equipamento Thermoconstanter Novasina TH200, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C e também realizada a pesagem da amostra para a obtenção da massa no equilíbrio (m_{eq}) utilizada na determinação do teor de umidade de equilíbrio. Esse procedimento foi repetido até que a última atividade de água lida fosse igual ou superior à anterior. A sucessão dessas leituras indica os pontos da curva da isoterma de dessecção dos resíduos do abacaxi.

Umidade de equilíbrio: Posteriormente à determinação desses pontos, as amostras foram levadas à estufa sem circulação de ar, a 105 °C por 24 h para determinação da massa seca (m_s) e posteriormente a umidade de equilíbrio (Equação 1).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (1)$$

Para o ajuste matemático dos dados experimentais utilizou-se modelos matemáticos, e fez-se a correspondência entre a umidade do produto em questão (X_{eq}) e a atividade de água (a_w) fornecendo importantes informações sobre o fenômeno de dessecção. Para o ajuste das isotermas de dessecção da casca e coroa do abacaxi a análise de regressão foi realizada com auxílio do aplicativo Statistica 5.0, utilizando a metodologia de estimativa de Quasi-Newton para o modelo de GAB (Equação 2). Para o modelo de BET linearizado (Equação 3), foi utilizada a metodologia de estimativa Simplex.

$$\frac{X_{eq}}{X_m} = \frac{(C_{GAB} - 1)K_{GAB}a_w}{1 + (C_{GAB} - 1)K_{GAB}a_w} + \frac{K_{GAB}}{1 - K_{GAB}a_w} \quad (2)$$

$$\frac{a_w}{1 - a_w X_{eq}} = \frac{1}{X_m C_{BET}} + \frac{a_w(C_{BET} - 1)}{X_m C_{BET}} \quad (3)$$

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 4.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{eq(\text{exp})} - X_{eq(\text{teorico})}}{X_{eq(\text{exp})}} \right) \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo de abacaxi apresentou um teor de umidade médio de 1,208 g de H₂O/g para casca e 1,291 g de H₂O/g para coroa, ambos em base seca (B.S.). Os valores mínimo e máximo obtidos para essa característica foram de 1,13 e 1,26, para casca e 0,857 e 1,790 para coroa. A alta umidade impõe a necessidade de secagem para evitar custos de transporte e obter maior tempo de prateleira, além de agregar valor ao resíduo, por obter um novo produto.

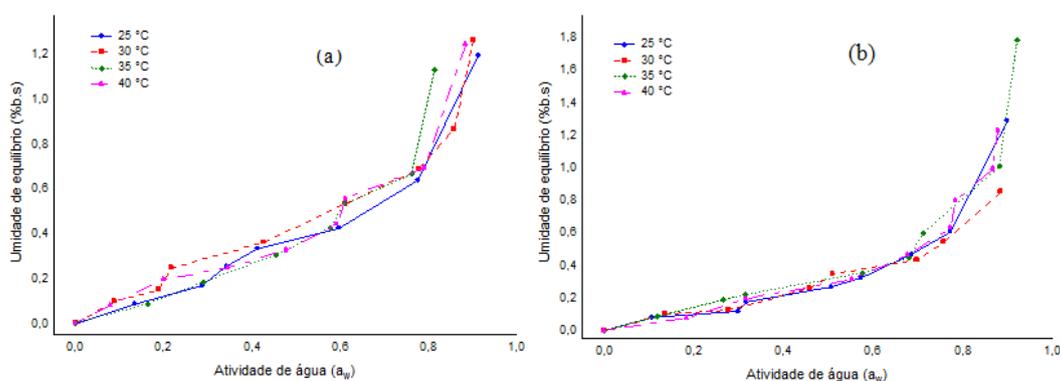
A atividade do resíduo de abacaxi, por sua vez, apresentou valores de 0,914 e 0,921, para casca e coroa, respectivamente, o que fornece evidência adicional da necessidade de realizar a secagem desse resíduo, já que, encontra-se muito acima do limite máximo de atividade de água (0,6) abaixo do qual não ocorre proliferação de microrganismos (Jay, 2005).

Estão representadas na Figura 1 as isotermas de dessecção do resíduo (casca e coroa) de abacaxi representadas na forma X_{eq} em função a_w para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C.

Observando-se os dados experimentais obtidos da atividade de água (a_w) com suas respectivas umidades de equilíbrio (X_{eq}) (Figura 1) em diferentes temperaturas, verifica-se que as umidades de equilíbrio (X_{eq}) para o resíduo de abacaxi aumentam com o aumento da atividade de água (a_w), resultado que concorda com o que ocorre para a maioria dos produtos higroscópicos, tendo sido observado por Oliveira et al. (2009), ao avaliarem isotermas de dessecção da coroa de abacaxi in natura nas mesmas temperaturas estudadas nesse trabalho, assegurando assim nossa investigação, visto que o nosso material seria submetido a fermentação semi-sólida, nas mesmas condições das do referido autor, sendo o nosso utilizado posteriormente em secagem.

Os pontos experimentais das isotermas de dessecção para o resíduo (casca e coroa) de abacaxi estão praticamente alinhados nas quatro temperaturas estudadas, verifica-se então o pouco efeito da temperatura sobre as quatro isotermas, podendo ser justificado pela pequena variação nos níveis de temperatura estudada (25 a 40 °C). Comportamento similar foi encontrado por Oliveira et al. (2006), ao estudarem as isotermas de dessecção da casca do maracujá (*Passiflora edulis Sims*). Verifica-se que as curvas apresentam comportamento típico de isotermas do tipo III, de acordo com classificação de Brunauer et al. (1938).

Figura 1: Isotermas de dessecção de umidade da casca (a) e coroa (b) de abacaxi.



Fonte: Autoria Própria

Conforme os resultados apresentados na Tabela 1 verifica-se que o modelo de GAB representou com mais precisão os dados experimentais para o resíduo (casca) de abacaxi, apresentando R^2 acima de 98% para todas as temperaturas e o menor valor para do desvio percentual médio (P), com exceção da temperatura de 35 °C que apresentou um valor menor de P para o modelo de BET linearizado.

Tabela 1: Parâmetros de ajuste dos modelos das isotermas de dessorção do resíduo (casca) de abacaxi, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P).

| Temperatura (°C) | | X_m | C | K | R^2 | P (%) |
|--------------------|----|--------|---------|---------|--------|-------|
| | 25 | 0,2152 | 6,7166 | 0,9019 | 0,9962 | 13,05 |
| GAB | 30 | 0,2146 | 13,9128 | 0,9120 | 0,9906 | 14,71 |
| | 35 | 0,1841 | 6,3718 | 1,0231 | 0,9831 | 13,72 |
| | 40 | 0,2064 | 11,7087 | 0,9406 | 0,9912 | 9,71 |
| Temperatura(°C) | | X_m | | C | R^2 | P (%) |
| BET Linearizado | 25 | 0,1109 | | 13,3569 | 0,9596 | 28,11 |
| | 30 | 0,1289 | | 8,9867 | 0,9684 | 22,81 |
| | 35 | 0,2060 | | 4,4044 | 0,9827 | 11,09 |
| | 40 | 0,1475 | | 8,0289 | 0,9786 | 11,64 |

Fonte: Autoria Própria

De acordo ainda com os resultados da Tabela 1, observa-se que o conteúdo de umidade da camada monomolecular (X_m) do modelo de GAB apresentou valores próximos nas diferentes temperaturas, apresentando um valor médio de 0,2051. Esse valor de X_m encontra-se acima do valor determinado para alimentos por Labuza et al. (1985), que indicam como valor máximo para X_m de 10% (b.s). Em relação ao parâmetro C não se observa uma tendência nos seus respectivos valores em relação às temperaturas estudadas. Quanto ao parâmetro K do modelo de GAB, que representa o fator de correlação das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, observam-se valores em torno de um (1). Tem-se o aumento desse parâmetro com o aumento da temperatura, para faixa de temperatura entre 25 a 35 °C.

Na Tabela 2, encontram-se os parâmetros obtidos por regressão não-linear para os modelos GAB e BET Linearizado para o ajuste das isotermas de dessorção da coroa de abacaxi em cada temperatura estudada, assim como os coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (P).

Verificou-se que GAB foi o modelo que apresentou um bom ajuste para todas as isotermas estudadas. Este modelo é amplamente utilizado, para descrever o comportamento de isotermas de alimentos por diversos pesquisadores. Telis et al. (2000) obtiveram um bom

ajuste de GAB aos dados experimentais de isotermas de casca e polpa de uva, para temperaturas de 20 a 70 °C e atividades de água entre 0,02 e 0,85 e Waughon & Pena (2007) obtiveram bons ajustes do modelo GAB aos dados de dessorção de umidade das fibras residuais do abacaxi, após secagem. Os valores referentes ao conteúdo de umidade da monocamada molecular (X_m), do modelo de GAB, flutuaram aleatoriamente dentro da faixa de temperatura estudada (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos das isotermas de dessorção do resíduo (coroa) de abacaxi, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P).

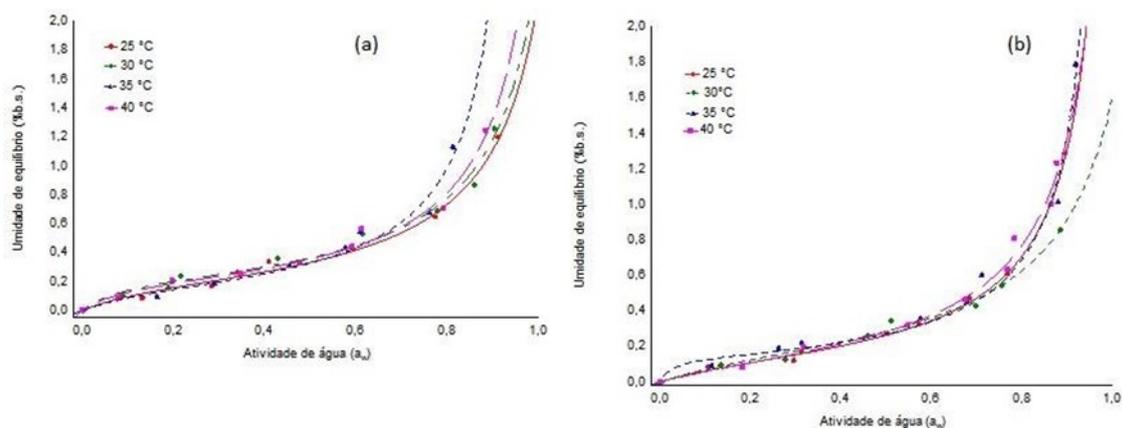
| Temperatura(°C) | | X_m | C | K | R^2 | P (%) |
|--------------------|----|--------|---------|--------|--------|-------|
| GAB | 25 | 0,1649 | 4,6616 | 0,9740 | 0,9905 | 8,12 |
| | 30 | 0,2036 | 4,7623 | 0,8755 | 0,9955 | 10,88 |
| | 35 | 0,1382 | 3,8618 | 0,9994 | 0,9908 | 15,38 |
| | 40 | 0,1920 | 3,4945 | 0,9608 | 0,9918 | 9,49 |
| Temperatura (°C) | | X_m | | C | R^2 | P (%) |
| BET Linearizado | 25 | 0,1344 | 13,064 | | 0,9968 | 10,80 |
| | 30 | 0,1101 | 8,5724 | | 0,9599 | 8,89 |
| | 35 | 0,1373 | 40,8746 | | 0,9908 | 15,38 |
| | 40 | 0,1493 | 9,8414 | | 0,9892 | 12,32 |

Fonte: Autoria Própria

O valor de X_m tem especial importância uma vez que, conforme Mishra et al. (1996), a umidade na monocamada determina o teor de umidade para uma armazenagem segura, na qual o material tem estabilidade máxima. Em relação à constante de sorção C do modelo de GAB, que é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água, observa-se que os valores são próximos para as temperaturas de 25 e 30°C, o mesmo acontecendo para as temperaturas 35 e 40 °C. O valor de K ficou praticamente constante, isto é, em torno de 1 com exceção da temperatura de 30 °C.

Dessa forma, utilizou-se neste trabalho a equação de GAB para ajustar as isotermas de dessorção do resíduo (casca e coroa). A Figura 2 apresenta as isotermas de dessorção do resíduo de abacaxi (casca e coroa) nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, ajustadas pelo modelo de GAB.

Figura 2: Isotermas de desorção de umidade de abacaxi: casca (a) e coroa (b), ajuste pelo modelo de GAB



Fonte: Autoria Própria

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resíduo de abacaxi (casca e coroa) apresenta elevado teor de umidade e atividades de água, necessitando de uma etapa de secagem previamente ao seu armazenamento. O modelo de GAB foi o mais adequado para descrever isotermas de desorção de umidade em um intervalo de atividade de água entre 0,079 e 0,914 para casca e 0,106 e 0,921 para coroa, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C.

REFERÊNCIAS

- AKANBI, C.T.; ADEYEMI, R.S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. **J. Food Eng.**, v.73, n.2, p.157–163, 2006.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Rev. Biol. Ciênc. Ter.**, v.7, p.11-20, 2007.
- ASSUNÇÃO, A.B.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão rosa. **Ciênc. Tecnol. Alimen.**, v.27, n.4, p.786-793, 2007.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz – Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2.ed. São Paulo, v.1, 2005.
- BRITO NETO, J. F.; PEREIRA, W. E; SÁ SOBRINHO, R. G.; BARBOSA; J. A.; SANTOS, D. P. Aspectos produtivos da abacaxicultura familiar e comercial no estado da Paraíba. **Rev. Caat.**, v.21, p.43-50, 2008.
- BRUNAUER, S.; EMMET, T.H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. **J. Am. Chem. Soc.**, v.60, p.309-319, 1938.
- FURMANIAK, S.; TERZYK, A.P.; GAUDEN, P.A.; RYCHLICKI, G. Applicability of the generalised D’Arcyand Watt model to description of water sorption on pineapple and other food stuffs. **J. FoodEng.**, v.79, n.2, p.718-723, 2007.

- HELDMAN, D.R.; HARTEL, R.W. Principles of food processing. **New York: Chapman & Hall**, 218p, 2000.
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados.** Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- JAY, J. M. Microbiologia de alimentos. 6 ed. - Porto Alegre: Artmed, 2005. LABUZA, T.P.; KAAANANE, A.; CHEN, J.Y. Effects of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **J. Food Sci.**, v.50, p.385-389, 1985.
- MISHRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce Palmaria palmate powder. **J. Food Proc. Pres., Westport**, v.20, p.25- 39, 1996.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; DANTAS, J. P.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de dessecção da casca do maracujá (*Passiflora edulis Sims*): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciênc. Rur.**, v. 36, n. 5, 2006.
- OLIVEIRA, M.M.; CAMPOS, A.R.N.; SILVA, F.L.H. da.; GOMES, J.P. Isotermas de dessecção da coroa do abacaxi. **Tec. Ciênc. Agropec.**, v.3, p.47-52, 2009.
- PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **J. Technol. Manag. Innov.**, v.2, p.118-127, 2007.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.**, v.17, p.216- 222, 2013.
- TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; MENEGALLI, F.C.; TELIS, R.J. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Therm. Acta.**, v.343, p.49-56, 2000.
- WAUGHON, T.G.; PENA, R.S. Avaliação higroscópica da fibra residual do abacaxi. **Rev. Bras. Tecnol. Agro.**, v.1, p.83-92, 2007.

CONTROLE ALTERNATIVO DE PARASITO: UMA REVISÃO SOBRE MÉTODOS UTILIZANDO ARMADILHAS

ALTERNATIVE PARASITE CONTROL: A REVIEW ABOUT METHODS USING TRAPS

DOI: 10.51859/ampla.cti4345-33

Gabriela Monaliza Sousa de Oliveira¹
Maria Eduarda Lopes Ferreira¹
Jorge Luiz Costa Filho¹
Meilangy Iris Ferreira de Oliveira¹
Carlos Emanuel da Silva Lima¹
Ana Carla Diogenes Suassuna Bezerra²

¹ Discente - Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA

² Docente - Departamento de Biociências da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA

RESUMO

As doenças parasitárias são de importância para a saúde pública, sendo necessários métodos para a sua prevenção e controle. Atualmente os métodos químicos são mais frequentes, entretanto a contaminação ambiental associado ao aparecimento da resistência química parasitária e acúmulo dos produtos utilizados no hospedeiro vem induzindo a busca por medidas alternativas de controle. Nesse sentido, o objetivo deste levantamento foi realizar uma revisão das publicações na literatura sobre métodos alternativos de controle parasitário com ênfase nas armadilhas. Como metodologia foi utilizado uma busca nas plataformas Google, Google Acadêmico, Periódicos da CAPES, ScienceDirect (Elsevier), PubMed e SciELO (Scientific Electronic Library onLine), de onde foram selecionadas 45 publicações nos últimos 28 anos (1996 a 2024). Como resultado, foi identificado 6 tipos de armadilhas, nas quais se destinam a diferentes alvos parasitários. Detalhando 57,8% (26/45) dos estudos foram sobre a ação das armadilhas contra parasitos. Desses, 26,9% (7/26) foram as armadilhas luminosas, 15,4% (4/26) descrevendo funil de berlese, 19,2% (5/26) com armadilhas por sublimação de CO₂ e utilização de gelo seco, 23,1% (6/26) armadilha de queda (pitfalls), 7,7% (2/26) armadilhas com semioquímicos (feromônios) e 7,7% (2/26) para as armadilhas adesivas. Por fim, é perceptível a flexibilidade das armadilhas, que podem utilizar

diferentes formas de atração como alvo, desde as características de apetência até uso de feromônios, sendo as armadilhas luminosas e de queda (pitfalls) as mais investigadas contra parasitos e as adesivas as menos investigadas. Concluindo que existem métodos alternativos de captura eficientes que auxiliam no controle das doenças parasitárias.

Palavras-chave: Captura. Doenças parasitárias. Controle parasitário.

ABSTRACT

The parasitic diseases are important to public health care, where chemical methods are necessary for the control and prevention. In recent days, the chemical methods are the most frequent ones, however the contamination of the environment due to the appearance of chemical resistance of the parasites and accumulation of the products used on the host has induced the search for alternate methods of control. In this regard, the objective of this survey was to do a resume of the publishment in the literature about alternate methods of parasite control with emphasis on the traps. As methodology a search in the Google, Academic Google, CAPES periodicals, ScienceDirect (Elsevier), PubMed and SciELO platforms were used, where 45 publications were used in the last 28 years (1996 to 2024). As a result, 6 types of traps were identified, in which different parasitic targets were targeted. Out of these, 26,9% (7/26) where luminous traps, 15,4%

(4/26) describing berlese funnels, 19,2% (5/26) with CO₂ sublimation traps and usage of dry ice, 23,1% (6/26) fall traps (pitfalls), 7,7% (2/26) to semiochemicals traps (pheromones) and 7,7% (2/26) to adhesive traps. Lastly, it is noticeable the flexibility of traps, that can use different forms of attraction as target, from the characteristics of the appetite to the use of pheromones, being the

luminous traps and the fall (pitfalls) the most investigated against parasites and the adhesives who are less investigated. To close it all off, there are alternate methods of efficient capture that help on the control of parasitological sickness.

Keywords: Capture. Parasitic diseases. Parasite control.

1. INTRODUÇÃO

As doenças parasitárias têm grande importância em saúde pública, e estão associadas à pobreza e a condições de vida inadequadas (Souza *et al.*, 2020). Em países subdesenvolvidos, como o Brasil, aparece com maior frequência devido às desigualdades sociais, e imunossupressão acometendo crianças com doenças infecciosas, como a leishmaniose e a febre maculosa, muitas vezes ocasionadas por vetores (Trindade *et al.*, 2022).

A febre maculosa é uma doença que pode acometer tanto o animal como o ser humano, ocasionado por uma bactéria gram negativa (Fiol *et al.*, 2010). O seu modo de transmissão ocorre quando o hospedeiro é acometido pelo carrapato do gênero *Amblyomma*, infectado com *Rickettsia rickettsii* (Moraes-Filho *et al.*, 2023). Os sinais clínicos que o paciente pode apresentar são: febre, prostração, mialgia, cefaleia, náuseas, vômito e exantema maculo-papular, como principal sintoma (Moraes-Filho *et al.*, 2017). Durante os anos de 2018 a 2022 houveram notificações de febre maculosa no Brasil, principalmente nas regiões Sudeste (70,84%) e Sul (23,13%) (Argentino *et al.*, 2024).

Outra doença transmitida por vetor é a leishmaniose que é considerada uma patologia infecciosa e parasitária primária, transmitida por um inseto hematófago, podendo ser dividida em leishmaniose visceral e a tegumentar (Gontijo *et al.*, 2003). A leishmaniose visceral é conhecida como calazar, representando uma das principais doenças zoonóticas pela OMS (Organização Mundial da Saúde) (Marcondes; Rossi, 2013). A sua transmissão ocorre pelo inseto infectado com o protozoário *Leishmania infantum*, e no Brasil o principal vetor é o *Lutzomyia longipalpis* predominante em regiões tropicais (Borges *et al.*, 2009). Enquanto a leishmaniose tegumentar é ocasionada por vários protozoários do gênero *Leishmania*, com transmissão ocasionada por flebotomíneos fêmeas infectadas (Basano; Camargo, 2004). O principal diagnóstico é pelo exame laboratorial imunológico, aspecto clínico ou exame parasitológico com pesquisa da forma amastigotas (Fagundes *et al.*, 2024).

Com objetivo de controlar essas e outras patologias a utilização de parasiticidas tornou-se essencial (Boxall *et al.*, 2007). Entretanto, a utilização inadequada vem ocasionando problemas como a resistência parasitária (Selzer; Epe, 2021) fazendo com que novas alternativas de controle sejam realizadas (Londershausen, 1996). A resistência pode ocasionar: mudanças do comportamento, baixa eficiência e fatores que afetam a qualidade dos medicamentos, assim é necessário medidas alternativas para combater a proliferação e auxiliar na captura desses parasitas (Soumare *et al.*, 2022).

Avanços tecnológicos permitem que novos meios de controle de ectoparasitas pudessem ser desenvolvidos, como as armadilhas entomológicas que são alternativas eficazes de monitoramento e captura vetorial, onde são usadas para o controle e detecção. (Domingues *et al.*, 2022).

Os habitats dos parasitos utilizam o meio ambiente escondidos em frechas ou fendas de difícil acesso ao ser humano, fato que tornou as armadilhas uma alternativa viável para reduzir o número dos vetores transmissores (Heath; Levot, 2015). A captura deve estar associada à escolha da armadilha a ser utilizada (Proulx *et al.*, 2020). As armadilhas luminosas de tecido, onde os insetos são atraídos pela luz e coletados manualmente, outras para a coleta de insetos diurnos, utilizam iscas como atrativos (Camargo *et al.*, 2015).

A armadilha de queda (pitfall), caracteriza-se por ser muito simples, de fácil confecção, baixo custo e fácil para ser transportada e instalada, apresentado-se eficaz, usado para captura de diferentes grupos de animais que compõem a fauna do solo. Desta forma, o tamanho do recipiente coletor, a presença ou não de isca atrativa, a presença de líquido conservante, cerca guia, cobertura e outras estratégias, vão depender da finalidade e do objetivo da captura (Lopes, 2007). Existe também a armadilha funil de Berlese-Tüllgren, que permite a coleta com menor esforço em campo comparado com outras metodologias, mas demanda um aparato específico para extração (Ribeiro; Santos; Burda, 2022).

Quanto às armadilhas com atrativos luminosos podem auxiliar no controle de vetores hematófagos, como os flebotomíneos (Munõz *et al.*, 2021). A eficiência da captura dos flebotomíneos varia baseado nas características e condições individuais dos vetores da leishmania e do atrativo, juntamente com a localização, das armadilhas que possuem CO₂ e luz como forma de atração desses mosquitos, das quais foram desenvolvidas pelo, Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) (Ginestra; Marschalek, 2022).

Em relação aos carrapatos, existem armadilhas que utilizam nanopartículas de ouro para encapsular o feromônio com a função de atrair os estágios do carrapato *Rhipicephalus sanguineus* (Anish *et al.*, 2017). Outro método de captura é a utilização de lençóis com iscas de gelo seco, entretanto exige tempo, mão-de-obra e exposição pessoal a carrapatos e seus habitats, e os dois primeiros métodos podem não ser fisicamente possíveis em alguns terrenos ou vegetação (Yans *et al.*, 2022). As armadilhas adesivas facilitaram a eficácia do método de captura (Gowrishankar *et al.*, 2019). Nesse sentido, o objetivo deste levantamento foi realizar uma revisão das publicações na literatura sobre métodos alternativos de controle parasitário com ênfase nas armadilhas.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada através da revisão de artigos publicados em inglês, espanhol e português, com busca nas bases de dados *online*, sendo elas: Google, Google Acadêmico, Periódicos da CAPES, ScienceDirect (Elsevier), PubMed e Scientific Electronic Library Online (SciELO). Para escolha dos descritores, levou-se em consideração os termos como “armadilhas”, “antiparasitária”, “controle”, “entomológicas” e “semioquímicas”. Para seleção dos artigos, foi realizada uma avaliação do conteúdo com base na leitura de título e resumo para identificar quais tinham mais relevância para o tema em estudo. Como critério de seleção, foram incluídos trabalhos de livros e artigos publicados entre 1996 a 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No total, foram selecionadas 6 tipos de armadilhas para controle alternativo de parasitos, sendo elas a armadilha luminosa, de queda (pitfalls), funil (Berlese-Tüllgren), as armadilhas que utilizam semioquímicos como atrativo (feromônio), a de liberação de CO₂ com gelo seco e as adesivas (Tabela 1).

Tabela 1: características das 6 armadilhas encontradas nos estudos, de acordo com seu tipo, parasito alvo e eficiência constatada

| ARMADILHA | TIPO | ALVO | EFICIÊNCIA | REFERÊNCIA |
|-----------------|----------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Luminosa | Coleta passiva | Parasitos alados | Alta e comprovada | Camargo <i>et al.</i> , 2015 |
| Queda (Pitfall) | Coleta passiva | Artrópodes terrestres | Mediana e dependente do atrativo | Camargo <i>et al.</i> , 2015 |

| ARMADILHA | TIPO | ALVO | EFICIÊNCIA | REFERÊNCIA |
|------------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------|--|
| Funil Berlese-Tüllgren | Coleta passiva | Parasitas de fototropismo negativo | Alta e comprovada | Camargo et al., 2015 |
| Semioquímicos (Feromônio) | Coleta passiva e ativa | Ampla variedade | Alta e comprovada | Ranju; Latha; Leela, 2018 Anish et al., 2017 |
| Gelo Seco (CO ₂) | Coleta passiva e ativa | Carrapatos | Baixa | Andreotti et al., 2016 Monteiro, 2017 Freitas et al., 2019 |
| Adesivas | Coleta passiva e ativa | Flebotomíneos | Não comprovada | Elnaiem et al., 2020 |

As armadilhas luminosas são dispositivos utilizados para a atração e captura de insetos alados e que apresentam algum tipo de fototropismo positivo, ou seja, que possuem atividade noturna e podem ser atraídos pela luz entre as 19:00 horas e 05:00 horas (Moraes *et al.*, 2024). Um dos principais grupos alvo indicados para utilização são os dípteros hematófagos, como flebotomíneos, que são atraídos por comprimentos de onda específicos de luz (González *et al.*, 2016). A armadilha de luz CDC, que é amplamente utilizada por ser de baixo custo e compacta, permite a vigilância de insetos em ambientes diversificados em curto espaço de tempo (Bibbs *et al.*, 2024). Estudos sugerem que as pistas visuais da luz atraem os insetos e demonstram atração por algumas cores como ultravioleta (UV), azul e verde (Tchouassi *et al.*, 2012). Ao longo dos anos, armadilhas luminosas foram desenvolvidas para captura de flebotomíneos, estando disponíveis no mercado comercial com atrativos e *designs* diferentes (SomWang *et al.*, 2021).

Propostas há quase um século, as armadilhas de pitfalls são comumente usadas para avaliar comunidades de artrópodes terrestres (Boetzi *et al.*, 2018). A armadilha de queda é um método quantitativo bem estabelecido e comumente usados em pesquisas de zoonoses, por serem simples de utilizar, eficientes, baratas e permitir a coleta contínua de espécimes, incluindo forrageadores noturnos, superando assim as diferenças interespecíficas nos ritmos de atividade circadiana (Staliov *et al.*, 2021). As armadilhas pitfalls consistem em recipientes

no subsolo, com a borda ao nível do solo, eliminando os vieses causados pelas variações entre coletores e podem elucidar uma estimativa de "densidade de atividade", ou seja, a abundância e atividade de cada espécie durante o período de amostragem e a densidade da população no habitat amostrado (Brown; Matthews, 2016). Como desvantagem salienta-se o trabalho de instalar no chão, tempo e energia desfavorecem seu uso associado a incapacidade de instalação em locais alagados, o que torna o seu uso inviável (Cechin; Martins, 2000). Outro ponto que merece destaque é a capacidade de ser influenciada negativamente pelo clima (Brown; Matthews, 2016), sendo menos eficiente em florestas tropicais (Privet *et al.*, 2020).

Microartrópodes podem ser separados do solo por métodos passivos permitindo que organismos migrem do solo para um dispositivo de captura, como os funis de Berlese (Dritsoulas; Duncan, 2020). Como desvantagem é o tempo de 15 dias de permanência da amostra no extrator, entretanto existem trabalhos que esse tempo está sendo alterado (Freire; Araújo; Berbara, 2015). É composto por um funil que apresenta uma fonte de calor no topo e embaixo um recipiente coletor, formando um gradiente de temperatura que faz com que os artrópodes migrem e caiam no coletor, sendo a maior vantagem a necessidade de pouca mão de obra (Rodrigues *et al.*, 2008).

Armadilhas à base de semioquímicos são utilizadas para aracnídeos como carrapatos, onde essas liberam sinais químicos podendo ser um feromônio (usados para comunicação coespecífica), alomônios (secreções de defesa) e cairomônios (usados para identificação e localização do hospedeiro) (Ranju; Latha; Leela, 2018). Os semioquímicos podem ser encapsulados na forma de nanoencapsulação que tem sido utilizada com administração eficiente e segura, auxiliando na liberação lenta do ingrediente ativo e na biodisponibilidade de feromônios voláteis e considerada eficaz em atrair todos os estágios de busca e ingurgitamento de *Rhipicephalus sanguineus* (Anish *et al.*, 2017).

Outras armadilhas ocasionam o processo de sublimação utilizando o gelo seco como fonte principal, realizando a liberação de dióxido de carbono (CO₂), o que o torna um bom atrativo para os carrapatos (Andreotti *et al.*, 2016). A técnica da armadilha de CO₂ consiste em manter o gelo seco no centro de uma flanela de cor clara, preferencialmente branca, com dimensões de 1,5 metros de comprimento por 0,90 metros de largura, com duas hastes de madeira presas a cada extremidade, puxada por cordões e com peso na extremidade posterior (Reckziegel *et al.*, 2016). Os carrapatos são então atraídos à flanela pelo CO₂, formado durante a sublimação do gelo seco, e são capturados (utilizando uma pinça, ou manualmente) e

acondicionados (Freitas *et al.*, 2019). O dióxido de carbono é uma forma de localização do hospedeiro usada por artrópodes que se alimentam de sangue, em flebotomíneos o CO₂ vai estar implicando na atração a longa distância associado a pistas visuais e odoríferas (Benante *et al.*, 2019).

Por fim, salienta-se as armadilhas adesivas para moscas da areia que são feitas de cartões não encerados ou folhas de papel/metal, revestidas com óleo de rícino ou outros óleos viscosos, e são colocadas verticalmente na trajetória de voo, sendo baratas, fáceis de montar, não necessita de nenhuma fonte de alimentação elétrica e dificilmente falham durante a operação, tornando-se importante para estudos ecológicos e de vigilância de rotina do vetor da leishmaniose (Elnaiem *et al.*, 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Doenças parasitárias estão presentes, em sua grande maioria, no cotidiano de países subdesenvolvidos, os quais possuem dificuldade no combate dessas enfermidades que acometem a população, seja no alto custo do medicamento ou nas condições socioeconômicas do indivíduo. Além disso, os métodos convencionais de tratamento consistem em parasiticidas ultrapassados, aos quais os parasitos, muitas vezes, já possuem resistência comprovada. Este trabalho conseguiu reunir trabalhos que trazem métodos alternativos para o controle de doenças parasitárias, como a utilização de armadilhas. Foram encontrados uma ampla variedade de armadilhas, essenciais para o controle de parasitos vetores de doenças como: Leishmaniose e Febre Maculosa, tabelando os dados obtidos nos artigos. Contudo, alguns modelos de armadilhas ainda necessitam de estudos mais aprofundados e comprovados para atuarem contra parasitas. Os resultados para as atividades antiparasitárias por meio do uso de armadilhas mostraram que as armadilhas de queda são as mais investigadas para essa finalidade e as adesivas possuem poucos estudos relacionados. A problemática da busca por controles alternativos menos tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente ainda é pouco explorada, mas revelam, cada vez mais, serem uma vertente de estudo importante e com eficiência promissora, conforme o tipo de armadilha e o vetor alvo.

REFERÊNCIAS

ANDREOTTI, R. *et al.* **Carrapatos**: protocolos e técnicas para estudo. 1 ed. Brasília: Embrapa (Empresa Brasileira de Agropecuária), 2016. 240 p.

- ARGENTINO, Í. do N. *et al.* Perfil epidemiológico dos casos notificados de febre maculosa nos anos de 2018 a 2022. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 6, p. 1-16, 2024. DOI:10.56083/RCV4N6-124.
- ANISH, R. K. *et al.* A novel assembly pheromone trap for tick control in dog kennels. **Veterinary Parasitology**. v. 235, p. 57-63, 2017. DOI: [https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.vetpar.2017.01.005](https://doi.org/ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.vetpar.2017.01.005).
- BASANO, S. de A; CAMARGO, L. M. A. Leishmaniose tegumentar americana: histórico, epidemiologia e perspectivas de controle. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 7, n. 3, p. 328-337, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2004000300010>.
- BENANTE, J. P. *et al.* A comparative study of mosquito and sand fly (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) sampling using dry ice and chemically generated carbon dioxide from threedifferent prototype CO₂ generators. **Journal of Economic Entomology**. v. 112, n. 1, p. 494-498, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy319>.
- BIBBS, C. S. *et al.* Do it yourself: 3D-printed miniature CDC trap for adult mosquito (Diptera: Culicidae) surveillance. **PloS Neglected Tropical Diseases**, v. 18, n. 1, e0011899, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011899>.
- BOETZL, F. A. *et al.* It's a matter of design-how pitfall trap design affects trap samples and possible predictions. **PeerJ**, v. 6, e5078, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.5078>.
- BORGES, B. K. A. *et al.* Presença de animais associada ao risco de transmissão da leishmaniose visceral em humanos em Belo Horizonte, Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 5, p. 1035-1043, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000500004>.
- BROWN, G. R.; MATTHEWS, I. M. A review of extensive variation in the design of pitfall traps and a proposal for a standard pitfall trap design for monitoring ground-active arthropod biodiversity. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 12, p. 3953-3964, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002%2Fece3.2176>.
- BOXALL, A. B. A. *et al.* A screening level index for assessing the impacts of veterinary medicines on dung flies. **Environmental Science & Technology**, v. 41, n. 7, p. 2630-2635, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/es0618705>.
- CAMARGO, A. J. A. *et al.* **Coleções entomológicas: legislação brasileira, coleta, curadoria e taxonomia para as principais ordens**. 1 ed. Brasília: Embrapa (Empresa Brasileira de Agropecuária), 2015. *E-book*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122542/1/amabilio-01.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- CECHIN, S. Z.; MARTINS, M. Eficiência de armadilhas de queda (*pitfall traps*) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 17, n. 3, p. 729-740, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752000000300017>.

- DOMINGUES, T. *et al.* Insect detection in sticky trap images of tomato crops using machine learning. **Agriculture**, v. 12, n. 11, 1967, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111967>.
- DRITSOULAS, A.; DUNCAN, L.W. Optimizing for taxonomic coverage: a comparison of methods to recover mesofauna from soil. **Journal of Nematology**, v. 52, e2020-104, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21307%2Fjofnem-2020-104>.
- ELNAIEM, D. E. *et al.* Understanding sand fly sampling methods: sticky traps are attraction-based and not interceptive sampling tools of phlebotomus orientalis. **Parasites & Vectors**, v. 13, n. 1, 389, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04249-1>.
- FAGUNDES, A. M. *et al.* Análise dos casos de leishmaniose tegumentar americana no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 5, e6413545779, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i5.45779>.
- FIOL, F. S. *et al.* A febre maculosa no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 27, n. 6, p. 461-466, 2010. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/rpsp/2010.v27n6/461-466/pt>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- FREIRE, L. R.; ARAÚJO, E. S.; BERBARA, R. L. L. Tempo de captura de organismos da mesofauna do solo e seus reflexos na interpretação de índices da comunidade edáfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1282-1291, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150117>.
- FREITAS, A. A. *et al.* Levantamento acarológico no horto florestal de Avaré (SP): uma contribuição à prevenção da febre maculosa brasileira. **Revista do Instituto Florestal**, v. 31, n. 1, p. 21-31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.201931102>.
- GINESTRA, M.; MARSCHALEK, D. A. "Uma nota sobre o aumento das taxas de captura de *Culex pipiens* Linnaeus, grupo de espécies de 1758 (Diptera: Culicidae) com armadilhas luminosas CDC-CO 2". **The Pan-Pacific Entomologist**. v. 98, n. 4, p. 309-312, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3956/2022-98.4.309>.
- GONTIJO, B.; CARVALHO, M. de L. R. de. Leishmaniose tegumentar americana. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 36, n. 1, p. 71-80, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0037-86822003000100011>.
- GONZÁLEZ, M. *et al.* Comparison of different light sources for trapping *Culicoides* biting midges, mosquitoes and other dipterans. **Veterinary Parasitology**. v. 226, p. 44-49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.06.020>.
- GOWRISHANKAR, S. *et al.* Innovative way to dispense pheromones for off-host control of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato ticks. **Veterinary Parasitology**, v. 275, 108936, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.108936>.

- HEATH, A. C. G.; LEVOT G. W. Parasiticide resistance in flies, lice and ticks in New Zealand and Australia: mechanisms, prevalence and prevention. **New Zealand Veterinary Journal**. v. 63, n. 4, p. 199-210, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00480169.2014.960500>.
- LONDERSHAUSEN, M. Review: Approaches to New Parasiticides **Pesticide Science**. v. 48, ed. 4, p. 269-407, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199612\)48:4<269::AID-PS478>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199612)48:4<269::AID-PS478>3.0.CO;2-B)
- LOPES, J. Evolução metodológica no uso de armadilhas tipo *pitfall* para coleta da entomofauna de solo. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais [...]**.
- MARCONDES, M.; ROSSI, C. N. Leishmaniose visceral no Brasil. **Brazilian Journal Of Veterinary Research And Animal Science**, v. 50, n. 5, p. 341-352, 2013. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2318-3659.v50i5p341-352>.
- MORAES-FILHO, I. M. de *et al.* Febre maculosa: transmissão, sintomas, diagnóstico e impacto ambiental - um repensar para a saúde planetária. **Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, v. 12, n. 4, p. 734-737, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.36239/revisa.v12.n4.p734a737>.
- MORAES-FILHO, J. *et al.* Febre maculosa brasileira. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, v. 15, n. 1, p. 38-45, 2017. DOI: <https://doi.org/10.36440/recmvz.v15i1.36765>.
- MORAES, S. K. *et al.* Coleta noturna de insetos utilizando armadilhas luminosas em área urbana na cidade de Uberaba/MG. **Acta Biologica Brasiliensia**, v. 7, n. 1, p. 126-135, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18554/acbiobras.v7i1.7655>.
- MUÑOZ, C. *et al.* On how trap positioning affects phlebotomine sand fly density estimations. **Medical and Veterinary Entomology**. v. 35, ed. 3, p. 490-494, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/mve.12501>.
- PRIVET, K. *et al.* Relative efficiency of pitfall trapping vs. nocturnal hand collecting in assessing soil-dwelling spider diversity along a structural gradient of neotropical habitats. **Diversity**, v. 12, n. 2, 81, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12020081>.
- PROULX, G. *et al.* Updating the AIHTS trapping standards to improve animal welfare and capture efficiency and selectivity. **Animals**, v. 10, n. 8, 1262, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10081262>.
- RANJU, R. S.; LATHA, B. R.; LEELA, V. Exploiting assembly pheromone for the control of ixodid ticks. **Acarologia**. v. 58, n. 2, p. 471-482, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24349/acarologia/20184254>.
- RECKZIEGEL, G.C. *et al.* **MANUAL DE VIGILÂNCIA, PREVENÇÃO E CONTROLE DE ZOONOSES: NORMAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS**. Brasília, Df: Ministério da Saúde, 2016.

- RIBEIRO, M.; SANTOS, E.; BURDA, J. Levantamento de fauna edáfica em área de Erva -Mate Ilex paraguariensis (St. Hill., 1825) com Funil de Berlese-Tüllgren e armadilhas de queda Pitfall. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**. Paranaguá, Pr: Instituto Federal do Paraná, v. 7, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21575/25254790rmmma2022vol7n1992>.
- RODRIGUES, K. M. *et al.* **Funis de Berlese-Tüllgren modificados utilizados para amostragem de macroartópodes de solo**. Seropédica: Embrapa (Empresa Brasileira de Agropecuária), 2008. 6 p. (Circular Técnica, 22).
- SELZER, P. M.; EPE, C. Antiparasitics in Animal Health: Quo Vadis?, **Trends in Parasitology**, v. 37, n. 1, p. 77-89, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.09.004>.
- SOMWANG, P. *et al.* Field evaluation of four commercial light traps, trap placement, and effect of carbon dioxide on phlebotomine sand fly collection in northern Thailand, **Acta Tropica**. v. 220, 105953, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105953>.
- SOUMARE, H.M., *et al.* Entomological impact of mass administration of ivermectin and dihydroartemisinin-piperaquine in the Gambia: a cluster-randomized controlled trial. **Parasites & Vectors**, v. 15, n. 1, 435, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05557-4>.
- SOUZA, H. P. *et al.* Doenças infecciosas e parasitárias no Brasil de 2010 a 2017: aspectos para vigilância em saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 44, e10, 2020. DOI:<https://doi.org/10.26633%2FRPSP.2020.10>.
- STASIOV, S. *et al.* Pitfall trap design affects the capture efficiency of harvestmen (Opiliones) and millipedes (Diplopoda). **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 14, p. 9864-9875, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002%2Fece3.7820>.
- TCHOUASSI, D.P. *et al.* Captura de vetores da febre do Vale do Rift (RVF) usando armadilhas CDC de diodo emissor de luz (LED) em dois focos de doenças arbovirais no Quênia. **Vetores de parasitas**. 5 , 94, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-94>.
- TRINDADE, M. L. U. *et al.* Educação em prevenção de doenças infecciosas e parasitárias em escolas de ensino fundamental da cidade de Mossoró-RN: um relato de experiência. **Interfaces - Revista de Extensão da UFMG**, v. 11, n. 1, p. 147-160, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistainterfaces/article/view/34978>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- YANS, M. W. *et al.* Development of a simple trap that captures ticks (Acari) on their dorsal surface. **Journal of Medical Entomology**, v. 59, n. 3, p. 969-975, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjab233>



AMPLLA
EDITORA

