

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

Ciência, tecnologia e  
inovação na perspectiva das  
**engenharias**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

Ciência, tecnologia e  
inovação na perspectiva das  
**engenharias**



 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

<b>Editora chefe</b>	
Prof <sup>a</sup> Dr <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira	
<b>Editora executiva</b>	
Natalia Oliveira	
<b>Assistente editorial</b>	
Flávia Roberta Barão	
<b>Bibliotecária</b>	
Janaina Ramos	
<b>Projeto gráfico</b>	2024 by Atena Editora
Ellen Andressa Kubisty	Copyright © Atena Editora
Luiza Alves Batista	Copyright do texto © 2024 O autor
Nataly Evilin Gayde	Copyright da edição © 2024 Atena
Thamires Camili Gayde	Editora
<b>Imagens da capa</b>	Direitos para esta edição cedidos à
iStock	Atena Editora pelo autor.
<b>Edição de arte</b>	<i>Open access publication by Atena</i>
Luiza Alves Batista	Editora



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

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

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

#### Conselho Editorial

##### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Jeniffer dos Santos  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
C569	Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2897-8 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.978241911">https://doi.org/10.22533/at.ed.978241911</a>  1. Engenharia. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.
CDD 620	
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

## DECLARAÇÃO DO AUTOR

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

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

O e-book: “Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias” é constituído por oito capítulos de livros que avaliaram: *i*) desenvolvimento, distribuição e integração da energia elétrica ao sistema elétrico brasileiro; *ii*) aplicação de inteligência artificial em diferentes segmentos da sociedade; *iii*) utilização de antenas e satélites em telecomunicações e; *iv*) desenvolvimento de materiais sustentáveis.

O primeiro capítulo analisou os inúmeros desafios enfrentados no processo de integração da energia eólica ao sistema elétrico brasileiro, apontando que os mesmos são significativos e passíveis de soluções. O capítulo 2 avaliou o desenvolvimento da energia eólica no cenário brasileiro, bem como os avanços, desafios e impactos desta fonte de energia renovável na matriz energética nacional.

O terceiro capítulo investigou avarias ocasionadas pelo uso inadequados de lubrificantes em motores de carros 1.0 e comparou o uso da inteligência artificial em relação a humano por intermédio da engenharia de prompt, os pesquisadores concluíram que a integração de ambas as inteligências poderá revolucionar a segurança em relação a utilização de sistemas de lubrificação. O capítulo 4 se propôs a utilizar mapas cognitivos *fuzzy* para compilar dados e informações de sala de aula para um sistema do tipo *Machine Learning*, a fim de atender as necessidades dos alunos e professores em tempo real.

O capítulo 5 propôs um projeto de antenas de microfita log-periódico para frequência e operação de sistemas Wi-Fi, seguindo a escala logarítmica e os parâmetros de espalhamento. Já o sexto capítulo, investigou a simulação do Sistema de Controle de Altitude (SCA) com o intuito de reduzir custos de manutenção e transmissão de satélites, os resultados demonstraram que a técnica de controle linear não é capaz de projetar o SCA com bom nível de desempenho e robustez.

O sétimo capítulo aplicou a Lei de Resfriamento de Newton na análise do comportamento de telhas ecológicas e cerâmicas em relação ao aquecimento e resfriamentos das mesmas, sendo utilizado uma modelagem do tipo PVI (Problema de Valor Inicial) por intermédio de uma Equação Diferencial Ordinária (EDO), sendo observado que a telha ecológica apresenta um menor potencial em relação ao conforto térmico em regiões com elevadas temperaturas. Por fim, o capítulo 8 investigou a capacidade catalítica da Perovskita ( $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{MnO}_3$ ) na catálise de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), sendo demonstrado grande viabilidade econômica e financeira, pois apresenta um potencial de conversão de 99%.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a

# APRESENTAÇÃO

publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**CAPÍTULO 1 ..... 1****DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA  
ELÉTRICO BRASILEIRO**

Alvani Bomfim de Sousa Júnior  
Sidney Barreto Batista  
Lara Edna Santos Alves  
Laura Francisca Sá Santos  
Mariani Monteiro da Silva  
Miguel Francisco Pereira Dos Santos  
Victor Andrew Cechinel Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419111>

**CAPÍTULO 2 ..... 13****O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: AVANÇOS,  
DESAFIOS E IMPACTOS DOS PARQUES EÓLICOS NO CONTEXTO  
NACIONAL E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Alvani Bomfim de Sousa Júnior  
Emilly Cristine Fonseca Cavalcante  
Kauani Da Silva Cardoso  
Maria Clara Assunção Lemos  
Ramon Gabriel Alves Borges  
Josevania Santos Conceição

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419112>

**CAPÍTULO 3 ..... 27****ANÁLISE COMPARATIVA DAS AVARIAS POR LUBRIFICAÇÃO EM MOTOR 1.0  
DE UM VEÍCULO POPULAR, RESSALTANDO A SEGURANÇA: INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL VERSUS INTELIGÊNCIA HUMANA**

Márcio Mendonça  
Marcos Dantas de Oliveira  
Adriana Giseli Leite Carvalho  
Adriano Prado de Souza  
Marcos Antônio de Matos Laia  
Emerson Ravazzi Pires da Silva  
Henrique Cavalieri Agonilha  
Marcos Banheti Rabello Vallim  
Angelo Feracin Neto  
Marcio Jacometti  
Darlen Borges Coutinho  
Fabio Rodrigo Milanez  
Marta Rúbia Pereira dos Santos  
Iago Maran Machado  
Vicente Roque da Rosa Filho  
Vicente de Lima Gongora  
Janaína Fracaro de Souza Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419113>

**CAPÍTULO 4 .....39**

Evolução e Impacto da Inteligência Ciente do Contexto:  
Um Estudo sobre o Uso de Mapas Cognitivos Fuzzy para a Personalização da Aprendizagem

Márcio Mendonça  
Guilherme Cyrino Geromel  
Fabio Rodrigo Milanez  
Francisco de Assis Scannavino Junior  
Angelo Feracin Neto  
Marcos Antônio de Matos Laia  
Emerson Ravazzi Pires da Silva  
Marcos Banheti Rabello Vallim  
Vitor Blanc Milani  
Luiz Francisco Sanches Buzzacchero  
Vicente de Lima Gongora  
Wagner Fontes Godoy  
Marta Rúbia Pereira dos Santos  
Andressa Haiduk  
Iago Maran Machado  
Eduardo Filgueiras Damasceno  
Rafael Carneiro Sacoman  
Adriano Prado de Souza  
Eduardo Viana de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419114>

**CAPÍTULO 5 .....53**

Projeto de um Arranjo Log-Periódico de Antenas de Microfita para Sistemas de Comunicação Sem Fio Utilizando a Curva Fractal de Minkowski Nível 1

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira  
Pedro Carlos de Assis Júnior  
Tales Augusto Carvalho de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419115>

**CAPÍTULO 6 .....66**

Satellite ACS Design Using SDRE Method for Orbit Injection Phase

Luiz Carlos Gadelha de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419116>

**CAPÍTULO 7 .....77**

Lei de Resfriamento de Newton: Análise do Comportamento Térmico de Telhas Ecológicas e Cerâmicas

Adalton Ferreira Guimarães  
Luiz Henrique Deolindo da Silva Moura  
Dorivaldo Pereira Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419117>

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>84</b>
IMPACT OF PEROVSKITES WITH CATALYTIC ACTIVITY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRIES FOR REDUCTION OF POLLUTANTS	
D. N. Oliveira	
J. A. S. Santos	
L. A. S. Costa	
S. L. Castro	
V. D. B. Medeiros	
Y. I. C. Rodrigues	
F. M. M. Borges	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419118">https://doi.org/10.22533/at.ed.9782419118</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>88</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>89</b>

# CAPÍTULO 1

## DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

---

*Data de submissão: 11/10/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **Alvani Bomfim de Sousa Júnior**

Faculdade Jardins e Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6358502728889050>  
<http://orcid.org/0000-0002-8714-4175>

### **Sidney Barreto Batista**

Universidade Federal de Sergipe Aracaju/Se, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2006044747395614>

### **Lara Edna Santos Alves**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0008-0001-7552-6790>

### **Laura Francisca Sá Santos**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0004-4187-9901>

### **Mariani Monteiro da Silva**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil

### **Miguel Francisco Pereira Dos Santos**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0000-2827-9355>

### **Victor Andrew Cechinel Costa**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0004-8076-9078>

**RESUMO:** A integração da energia eólica no sistema elétrico brasileiro apresenta desafios significativos, principalmente devido à natureza intermitente dessa fonte de energia e à infraestrutura existente no país. A energia eólica, embora limpa e renovável, depende das condições climáticas para gerar eletricidade de forma eficaz, o que torna sua produção variável ao longo do tempo. Nesse contexto, justifica-se a relevância deste estudo pelo crescente papel que a energia eólica desempenha no contexto da transição energética e na busca por alternativas sustentáveis de produção de energia. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar os desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro em integrar a

energia eólica de forma eficiente e segura. A pesquisa busca explorar como a intermitência dessa fonte de energia impacta a estabilidade da rede, as limitações da infraestrutura de transmissão no país e as possíveis soluções para aumentar a previsibilidade e a integração da energia eólica no mix energético nacional. Conclui-se que, os desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro na integração da energia eólica são significativos, mas não intransponíveis. A combinação de inovações tecnológicas, investimentos na infraestrutura de transmissão e estratégias de gerenciamento mais eficazes pode permitir ao Brasil aproveitar plenamente seu potencial eólico. Assim, será possível não apenas aumentar a participação das energias renováveis no mix energético, mas também garantir um fornecimento de energia mais seguro e sustentável para o futuro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia eólica. Integração da energia eólica. Desafios no sistema elétrico brasileiro. Fontes renováveis.

## CHALLENGES OF INTEGRATING ELECTRICITY INTO THE BRAZILIAN ELECTRICITY SYSTEM

**ABSTRACT:** The integration of wind energy into the Brazilian electricity system presents significant challenges, mainly due to the intermittent nature of this energy source and the existing infrastructure in the country. Wind energy, although clean and renewable, depends on weather conditions to generate electricity effectively, which makes its production variable over time. In this context, the relevance of this study is justified by the growing role that wind energy plays in the context of the energy transition and in the search for sustainable alternatives for energy production. Thus, the objective of this work is to analyze the challenges faced by the Brazilian electricity system in integrating wind energy efficiently and safely. The research seeks to explore how the intermittency of this energy source impacts the stability of the grid, the limitations of the transmission infrastructure in the country and the possible solutions to increase the predictability and integration of wind energy into the national energy mix. It is concluded that the challenges faced by the Brazilian electricity system in integrating wind energy are significant, but not insurmountable. The combination of technological innovations, investments in transmission infrastructure and more effective management strategies can allow Brazil to fully exploit its wind potential. This will not only increase the share of renewable energy in the energy mix, but also ensure a safer and more sustainable energy supply for the future.

**KEYWORDS:** Wind energy. Wind energy integration. Challenges in the Brazilian electrical system. Renewable sources.

## 1 | INTRODUÇÃO

A integração da energia eólica no sistema elétrico brasileiro apresenta desafios significativos, principalmente devido à natureza intermitente dessa fonte de energia e à infraestrutura existente no país. A energia eólica, embora limpa e renovável, depende das condições climáticas para gerar eletricidade de forma eficaz, o que torna sua produção variável ao longo do tempo. No Brasil, o crescimento exponencial dessa fonte renovável nos últimos anos é um reflexo dos investimentos em fontes sustentáveis de energia. No

entanto, a falta de previsibilidade na produção de energia eólica coloca uma pressão adicional sobre o sistema elétrico nacional, que precisa garantir um fornecimento estável de energia.

Inclusive, a maior parte dos parques eólicos no Brasil está localizada no Nordeste, uma região onde o potencial eólico é abundante, mas que se encontra distante dos grandes centros de consumo de energia, localizados no Sudeste e Sul. Essa distribuição geográfica impõe desafios logísticos e técnicos, como a necessidade de uma infraestrutura robusta de transmissão para transportar a energia gerada para essas regiões mais populosas. O planejamento da expansão da rede de transmissão e a integração eficiente da energia eólica com outras fontes de energia, como hidrelétrica e termelétrica, são essenciais para garantir a segurança energética do país.

Outro aspecto importante é a estabilidade do sistema elétrico. Devido à variabilidade da energia eólica, há uma necessidade crescente de soluções que permitam armazenar energia ou garantir a geração complementar por outras fontes durante períodos de baixa produção eólica. Tecnologias de armazenamento de energia, como baterias de larga escala, e o aprimoramento de técnicas de previsão meteorológica são medidas fundamentais para mitigar os impactos dessa intermitência. Assim, o país enfrenta o desafio de modernizar sua rede elétrica e implementar tecnologias que garantam a integração harmônica da energia eólica com outras fontes no mix energético.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar os desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro em integrar a energia eólica de forma eficiente e segura. A pesquisa busca explorar como a intermitência dessa fonte de energia impacta a estabilidade da rede, as limitações da infraestrutura de transmissão no país e as possíveis soluções para aumentar a previsibilidade e a integração da energia eólica no mix energético nacional.

Nesse contexto, justifica-se a relevância deste estudo pelo crescente papel que a energia eólica desempenha no contexto da transição energética e na busca por alternativas sustentáveis de produção de energia. Com a necessidade global de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas, a energia eólica surge como uma solução promissora. No entanto, sem uma infraestrutura adequada e um planejamento eficaz, os benefícios dessa fonte podem ser limitados. A compreensão dos desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro é crucial para maximizar o potencial da energia eólica e garantir a segurança energética do país.

Além disso, o estudo é relevante para formuladores de políticas públicas e investidores do setor energético, que buscam identificar as melhores práticas para integrar fontes renováveis no sistema elétrico. A identificação de soluções para os desafios técnicos e logísticos é um passo importante para garantir a expansão sustentável da energia eólica no Brasil, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a promoção de um desenvolvimento econômico de baixo carbono.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu em uma pesquisa de caráter bibliográfico, com base em estudos previamente publicados sobre o tema. Conforme Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica permite um levantamento aprofundado de conhecimentos já estabelecidos, possibilitando a análise crítica das informações disponíveis e a construção de novos entendimentos a partir da literatura.

Para a seleção do material, foram utilizadas as seguintes bases de dados: Google Scholar e Scielo, consideradas fontes amplas e relevantes de artigos acadêmicos e relatórios técnicos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: “energia eólica,” “integração da energia eólica,” “desafios no sistema elétrico brasileiro,” e “fontes renováveis.”

O recorte temporal abrangeu publicações dos últimos 10 anos (2014-2024), garantindo a inclusão de pesquisas recentes, principalmente aquelas que discutem o avanço das energias renováveis no Brasil. Os critérios de inclusão contemplaram artigos, teses e relatórios que abordassem diretamente os desafios técnicos e logísticos da energia eólica e sua integração no sistema elétrico brasileiro. Excluíram-se documentos que tratavam exclusivamente de outros tipos de energia renovável, bem como aqueles que não estavam disponíveis integralmente nas bases pesquisadas.

A análise dos dados coletados permitiu uma visão ampla sobre os principais entraves e oportunidades para a expansão da energia eólica no Brasil, contribuindo para o aprofundamento da discussão sobre soluções tecnológicas e políticas públicas voltadas para o setor.

## 3 | DISCUSSÃO TEÓRICA

### 3.1 Cenário da Energia Eólica no Brasil

O cenário da energia eólica no Brasil tem se transformado ao longo das últimas décadas, consolidando-se como uma das principais fontes de energia renovável no país. A partir de 2010, a capacidade instalada de geração eólica cresceu exponencialmente, resultando em um aumento significativo no percentual que essa fonte representa na matriz energética brasileira. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2012, o Brasil contava com apenas 1,3 GW de potência instalada em energia eólica, enquanto até 2021 esse número já ultrapassava 23,6 GW. Essa expansão notável se deve, em grande parte, a políticas públicas e leilões promovidos pelo governo federal, que incentivaram o investimento privado na construção de parques eólicos, tornando o Brasil um dos líderes na geração de energia eólica na América Latina e no mundo (CUNHA et al. 2024).

As regiões Nordeste e Sul do Brasil destacam-se como as principais áreas com potencial eólico segundo Silva et al. (2023). O Nordeste, em particular, abriga estados

como o Rio Grande do Norte, a Bahia e o Ceará, que se beneficiam de ventos constantes e intensos, características essenciais para a produção de energia eólica. O Rio Grande do Norte, por exemplo, é o estado brasileiro que possui o maior número de parques eólicos, contribuindo significativamente para a matriz energética do país. Além disso, o estado se destaca na capacidade instalada e na eficiência das turbinas, sendo um exemplo de como a energia eólica pode ser uma solução viável para a demanda energética regional. O Sul, com estados como Rio Grande do Sul e Santa Catarina, também apresenta um bom potencial, embora ainda em fase de desenvolvimento em comparação ao Nordeste.

Em relação à comparação entre a energia eólica e outras fontes renováveis, como a energia solar e hidrelétrica, é importante observar as particularidades de cada uma. A energia hidrelétrica, tradicionalmente a principal fonte de energia no Brasil, enfrenta desafios em períodos de seca, o que pode comprometer sua capacidade de geração. Em contrapartida, a energia eólica se mostrou uma alternativa eficaz durante essas épocas, já que a geração eólica pode ocorrer independentemente da disponibilidade de água. A energia solar, que também está em ascensão no Brasil, vem ganhando espaço, mas ainda não alcançou os mesmos níveis de capacidade instalada que a energia eólica. A diversificação das fontes é fundamental para garantir a segurança energética do país, especialmente em um cenário de mudanças climáticas (PIRES E COSTA, 2023).

Além das vantagens técnicas, Santos e Araújo (2023) pontuam que, a energia eólica também apresenta benefícios econômicos e sociais. A instalação de parques eólicos gera empregos diretos e indiretos, contribuindo para o desenvolvimento regional. Muitas comunidades, especialmente no Nordeste, têm se beneficiado da criação de empregos durante a construção e operação das usinas, além de receberem royalties que podem ser reinvestidos em infraestrutura e serviços sociais. Esse impacto positivo na economia local é um fator que deve ser considerado na formulação de políticas públicas voltadas para a promoção da energia eólica.

Entretanto, Silva et al. (2023) pontuam que, a expansão da energia eólica no Brasil não é isenta de desafios. A necessidade de infraestrutura adequada para a transmissão de energia gerada nos parques eólicos para os centros consumidores é uma questão crítica. O sistema elétrico brasileiro enfrenta dificuldades para integrar essa energia renovável, especialmente em regiões onde a demanda é alta. Investimentos em redes de transmissão e melhorias na gestão da energia são essenciais para otimizar a utilização da capacidade instalada de geração eólica e evitar desperdícios.

Assim, o futuro da energia eólica no Brasil parece promissor, com projeções de crescimento contínuo. Para Cunha et al. (2024), o país possui condições climáticas favoráveis e uma vasta área territorial disponível para a instalação de novos parques eólicos. Além disso, a crescente preocupação com a sustentabilidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa está impulsionando ainda mais a transição para fontes de energia renovável. À medida que a tecnologia avança e os custos de instalação

diminuem, a energia eólica continuará a ser uma opção viável e essencial para a matriz energética brasileira, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país e para a redução da dependência de combustíveis fósseis.

### **3.2 Desafios Regionais, Técnicos e Logísticos**

Os desafios regionais, técnicos e logísticos enfrentados pela indústria de energia eólica no Brasil são múltiplos e complexos, refletindo a diversidade geográfica e socioeconômica do país. Em termos regionais, Gonzalez et al. (2023) pontuam que, o Nordeste se destaca como a principal região para a geração de energia eólica, devido à sua alta intensidade de ventos. No entanto, essa região enfrenta desigualdades socioeconômicas que podem dificultar a implementação de projetos. A infraestrutura limitada e a falta de acesso a serviços básicos em algumas áreas rurais tornam o desenvolvimento de parques eólicos mais desafiador. Essa situação demanda uma abordagem integrada que considere não apenas a viabilidade técnica, mas também as condições sociais e econômicas locais.

Os desafios técnicos são outro aspecto importante a ser considerado segundo Conte (2022). A tecnologia utilizada na geração de energia eólica está em constante evolução, e a necessidade de manutenção e atualização das turbinas é essencial para garantir a eficiência do sistema. Além disso, a intermitência da energia gerada é uma preocupação, uma vez que a produção de eletricidade depende da intensidade e da constância dos ventos. Para contornar esse desafio, é crucial investir em sistemas de armazenamento de energia e em redes inteligentes que permitam o gerenciamento eficiente da geração e do consumo. O desenvolvimento de tecnologia para prever e otimizar a produção eólica também é fundamental para superar as limitações técnicas atuais.

Logisticamente, a construção e a operação de parques eólicos demandam uma estrutura robusta de transporte e logística. O transporte de equipamentos pesados e de grandes dimensões, como as turbinas, exige planejamento logístico cuidadoso. Muitas vezes, as localizações ideais para a instalação dos parques estão em áreas remotas, o que pode tornar o acesso complicado e caro. A falta de estradas adequadas e de infraestrutura de transporte pode aumentar os custos e atrasar os cronogramas de construção. Portanto, é imprescindível que as empresas do setor trabalhem em parceria com o governo para melhorar a infraestrutura existente e garantir o escoamento eficiente da produção (GONZALEZ et al. 2023).

Outro desafio logístico envolve a integração da energia eólica à rede elétrica nacional segundo Silva (2023). A capacidade de transmissão precisa ser ampliada e modernizada para acomodar a crescente produção de energia eólica, especialmente em regiões onde a geração está concentrada. A implementação de novas linhas de transmissão e a atualização das existentes são ações necessárias para permitir que a energia eólica chegue aos centros consumidores. Esta situação ressalta a necessidade de um planejamento estratégico

que integre as políticas de expansão da energia eólica às diretrizes do sistema elétrico brasileiro, a fim de garantir a sustentabilidade da matriz energética.

Adicionalmente, Freire e Fontgalland (2022) pontuam que, as questões regulatórias e burocráticas podem ser barreiras significativas para o desenvolvimento de projetos eólicos. Processos de licenciamento ambiental, por exemplo, podem ser morosos e complicados, causando atrasos e incertezas para os investidores. A clareza e a agilidade nos procedimentos regulatórios são fundamentais para criar um ambiente favorável ao crescimento da energia eólica. Os formuladores de políticas precisam considerar a simplificação dos processos e a redução da burocracia para facilitar a instalação de novos parques eólicos e a expansão da capacidade instalada.

As questões sociais também desempenham um papel importante nos desafios da energia eólica. O envolvimento das comunidades locais nos projetos eólicos é essencial para garantir a aceitação social e o sucesso a longo prazo. Muitas vezes, há uma falta de informação sobre os benefícios da energia eólica, o que pode gerar resistência por parte da população. Campanhas de conscientização e o envolvimento ativo das comunidades no processo de decisão são estratégias eficazes para superar esse obstáculo. A criação de parcerias entre as empresas de energia e as comunidades locais pode resultar em benefícios mútuos, promovendo o desenvolvimento regional e a geração de empregos (CONTE, 2022).

Por último, a educação e a capacitação profissional são elementos-chave para enfrentar os desafios da energia eólica no Brasil. Para Freire e Fontgalland (2022), o crescimento do setor demanda profissionais qualificados e capacitados para lidar com a tecnologia e a operação dos parques eólicos. Investimentos em programas de formação técnica e superior podem ajudar a suprir a demanda por mão de obra especializada, além de promover a inclusão social e econômica nas regiões onde a energia eólica é desenvolvida. Assim, ao superar os desafios regionais, técnicos e logísticos, o Brasil pode consolidar sua posição como um líder em energia eólica, contribuindo para um futuro mais sustentável e diversificado.

### **3.3 Impactos na Estabilidade do Sistema Elétrico**

Os impactos na estabilidade do sistema elétrico decorrentes da crescente penetração da energia eólica são um tópico crucial a ser considerado na transição para uma matriz energética mais sustentável. A variabilidade da produção eólica representa um dos principais desafios enfrentados pelos operadores do sistema elétrico. A geração de energia eólica depende fortemente das condições meteorológicas, resultando em flutuações significativas na produção elétrica. Essa intermitência pode causar dificuldades para o equilíbrio entre oferta e demanda, potencialmente levando a situações de sobrecarga ou subcarga na rede elétrica. Segundo estudos, essa variabilidade pode resultar em frequentes oscilações na

frequência e tensão do sistema, afetando sua estabilidade e confiabilidade (LOPES, 2023).

Um aspecto crítico para a manutenção da estabilidade do sistema elétrico é a implementação de tecnologias de armazenamento de energia. Sistemas de armazenamento, como baterias de íon de lítio e armazenamento em bomba, oferecem uma solução viável para gerenciar a intermitência da geração eólica. Esses sistemas permitem armazenar energia durante períodos de alta produção e liberá-la quando a geração é baixa, ajudando a suavizar as flutuações na oferta. Conforme destacado por Barbosa (2022), o armazenamento de energia pode atuar como um buffer, garantindo que a demanda seja atendida mesmo quando a produção eólica não corresponde à carga do sistema.

Além do armazenamento, a integração de tecnologias como a geração distribuída e a microrrede pode fornecer soluções complementares para lidar com a intermitência da energia eólica. A geração distribuída permite que pequenos sistemas de geração, como painéis solares e turbinas eólicas, sejam instalados próximos ao ponto de consumo, reduzindo a necessidade de longas linhas de transmissão e aumentando a resiliência do sistema. As microrredes, por sua vez, são redes locais que podem operar de forma independente da rede elétrica principal, oferecendo maior flexibilidade e capacidade de resposta às variações de oferta e demanda. Como afirmam Lopes (2023), essas abordagens podem fortalecer a resiliência do sistema e proporcionar uma resposta mais ágil às flutuações de produção.

Ademais, a adoção de tecnologias avançadas de previsão de geração e demanda pode ajudar a mitigar os impactos da variabilidade. Sistemas de previsão meteorológica que utilizam inteligência artificial e aprendizado de máquina podem melhorar significativamente a precisão das previsões de produção eólica. Isso permite que os operadores do sistema se preparem melhor para as flutuações esperadas, ajustando a geração de outras fontes ou aumentando a capacidade de armazenamento. De acordo com um estudo de Telles (2017), a utilização de previsões mais precisas pode levar a uma redução considerável nos custos de operação e aumentar a confiabilidade do sistema.

A melhoria da infraestrutura de transmissão também é fundamental para a integração da energia eólica. A construção de novas linhas de transmissão e a modernização das existentes podem facilitar o transporte da energia gerada em regiões com alto potencial eólico para áreas com maior demanda. Isso não apenas ajuda a equilibrar a carga do sistema, mas também promove a eficiência da utilização dos recursos energéticos disponíveis. A importância de uma infraestrutura robusta foi destacada por Rosa (2019), que enfatizam que a conexão eficiente entre as regiões geradoras e consumidoras é essencial para a estabilidade do sistema.

Além disso, Lopes (2023) pontua que, a diversificação das fontes de energia também é uma estratégia eficaz para mitigar os impactos da variabilidade da energia eólica. A combinação de diferentes fontes renováveis, como solar, hidrelétrica e biomassa, pode criar uma matriz energética mais equilibrada, onde a produção de uma fonte pode compensar

a diminuição da outra. Essa abordagem integrada não apenas melhora a confiabilidade do sistema elétrico, mas também promove uma transição mais rápida e eficiente para uma matriz energética sustentável.

A implementação de políticas públicas e regulatórias que incentivem a integração da energia eólica e outras fontes renováveis é igualmente crucial. O apoio governamental em termos de subsídios, incentivos fiscais e regulamentação favorável pode estimular o desenvolvimento de tecnologias e práticas que aumentem a estabilidade do sistema elétrico. A criação de um ambiente regulatório que favoreça a inovação e a adoção de soluções tecnológicas é fundamental para superar os desafios da variabilidade da produção eólica (ROSA, 2019).

Por fim, é evidente que os impactos na estabilidade do sistema elétrico devido à variabilidade da produção eólica exigem uma abordagem multifacetada que considere tecnologias de armazenamento, melhorias na infraestrutura, diversificação das fontes de energia e políticas públicas eficazes. Ao adotar uma estratégia integrada que aborde esses aspectos, é possível não apenas garantir a confiabilidade do sistema elétrico, mas também promover uma transição eficiente para uma matriz energética mais limpa e sustentável (LOPES, 2023).

### **3.4 Soluções Tecnológicas para a Integração Eficiente**

A integração eficiente de energias renováveis, especialmente a energia eólica, no sistema elétrico brasileiro exige a adoção de soluções tecnológicas inovadoras. Uma das principais abordagens é a aplicação de tecnologias de previsão meteorológica. Estas tecnologias utilizam algoritmos avançados e modelos de dados para prever com precisão a geração de energia a partir de fontes eólicas e solares. Segundo Tinoco (2021), a implementação de sistemas de previsão meteorológica pode aumentar a precisão das projeções de produção em até 30%, permitindo que os operadores do sistema elétrico se preparem melhor para as flutuações na oferta de energia, ajustando a geração de outras fontes conforme necessário.

Além das previsões meteorológicas, inovações em redes inteligentes são essenciais para a integração eficaz das energias renováveis. Redes inteligentes utilizam tecnologias de comunicação e automação para otimizar a operação do sistema elétrico. Elas permitem a monitorização em tempo real e a gestão da carga, facilitando a distribuição da energia gerada a partir de fontes renováveis. Segundo Silva e Oliveira (2023), as redes inteligentes podem melhorar a eficiência energética em até 30%, reduzindo as perdas durante a transmissão e distribuição e aumentando a capacidade de integração de novas fontes de energia.

O armazenamento de energia também desempenha um papel crucial na integração de energias renováveis. Tecnologias como baterias de íon de lítio e sistemas de

armazenamento em bomba permitem acumular energia durante períodos de alta produção e liberá-la quando a demanda é maior. De acordo com Pagel et al. (2018), o uso de sistemas de armazenamento pode reduzir significativamente a necessidade de fontes de geração de backup, aumentando a confiabilidade do sistema elétrico. Em países como a Alemanha e a Austrália, a adoção de sistemas de armazenamento em larga escala tem sido fundamental para equilibrar a intermitência da produção de energia renovável.

Casos de sucesso em outros países oferecem lições valiosas para o Brasil. Na Dinamarca, por exemplo, a integração de energia eólica é uma realidade consolidada, com mais de 40% da eletricidade proveniente de fontes eólicas. A combinação de previsão meteorológica precisa, redes inteligentes e armazenamento de energia tem sido fundamental para alcançar esse feito. Segundo Tinoco (2023), a experiência dinamarquesa demonstra que, com as políticas e tecnologias adequadas, é possível aumentar a participação da energia eólica sem comprometer a estabilidade do sistema elétrico.

Outro exemplo inspirador é o da Califórnia, nos Estados Unidos, que implementou um sistema de gerenciamento da demanda elétrica que integra diferentes fontes renováveis. Esse sistema utiliza dados em tempo real para equilibrar a oferta e a demanda, permitindo uma maior utilização de energia solar e eólica. Conforme destacado por Campos et al. (2022), a flexibilidade proporcionada por essas tecnologias é essencial para lidar com as variações de produção e garantir a confiabilidade do sistema.

Adicionalmente, a implementação de microredes tem se mostrado uma solução eficaz para a integração de energias renováveis em áreas urbanas e rurais. Microredes são sistemas locais que podem operar de forma independente da rede elétrica principal, permitindo que comunidades utilizem energia renovável de maneira mais eficiente. Um estudo realizado por Pagel et al. (2018) aponta que a instalação de micro redes pode aumentar a resiliência energética e reduzir as perdas associadas à transmissão de longa distância.

Por fim, a combinação de tecnologias de previsão meteorológica, redes inteligentes e armazenamento de energia, juntamente com políticas públicas que incentivem a integração de energias renováveis, poderá transformar o panorama energético do Brasil. Ao aprender com as experiências de outros países, o Brasil pode desenvolver um sistema elétrico mais sustentável, confiável e resiliente, capaz de atender à crescente demanda por energia de maneira eficiente e ambientalmente responsável. Assim, a integração de soluções tecnológicas inovadoras é fundamental para enfrentar os desafios da intermitência das energias renováveis. A combinação de tecnologias de previsão meteorológica, inovações em redes inteligentes e sistemas de armazenamento de energia, assim como a adoção de práticas bem-sucedidas de outros países, pode levar o Brasil a uma nova era de eficiência energética e sustentabilidade (SILVA E OLIVEIRA, 2023).

## 4 | CONCLUSÕES

A análise dos desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro para integrar a energia eólica de forma eficiente e segura revela a complexidade da situação atual. A intermitência da geração eólica, que depende de fatores climáticos e das condições do vento, tem um impacto significativo na estabilidade da rede elétrica. Essa variabilidade gera a necessidade de um planejamento mais robusto para garantir a continuidade do fornecimento de energia, especialmente em momentos de alta demanda.

Além da intermitência, as limitações da infraestrutura de transmissão no Brasil constituem um obstáculo considerável para a integração da energia eólica. A rede de transmissão frequentemente é incapaz de atender à crescente demanda por energia renovável, resultando em perdas e ineficiências. A expansão e modernização dessa infraestrutura são essenciais para permitir uma maior captação e distribuição da energia eólica, garantindo a conexão das regiões com maior potencial eólico às áreas de consumo.

Felizmente, existem soluções promissoras que podem aumentar a previsibilidade e a integração da energia eólica no mix energético nacional. A adoção de tecnologias avançadas de previsão meteorológica pode melhorar a capacidade de planejamento e gerenciamento da operação das usinas eólicas. Além disso, a implementação de sistemas de armazenamento de energia, que permitem acumular a energia gerada em períodos de alta produção, pode suavizar as flutuações na oferta, contribuindo para a estabilidade da rede.

Em conclusão, os desafios enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro na integração da energia eólica são significativos, mas não intransponíveis. A combinação de inovações tecnológicas, investimentos na infraestrutura de transmissão e estratégias de gerenciamento mais eficazes pode permitir ao Brasil aproveitar plenamente seu potencial eólico. Assim, será possível não apenas aumentar a participação das energias renováveis no mix energético, mas também garantir um fornecimento de energia mais seguro e sustentável para o futuro.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, M. M. B. Desafios futuros do ONS nos estudos de estabilidade e dinâmica do SIN considerando os parques eólicos do nordeste. **Revista Foco**, v. 14, n. 3, 2022.
- CAMPOS, F. M.; ARAÚJO, D. N.; TOLEDO, O. M. Tecnologias e aplicações de sistemas de armazenamento de energia para suporte à integração de fontes renováveis no Brasil. **IX Congresso Brasileiro de Energia Solar** – Florianópolis, 23 a 27 de maio de 2022.
- CONTE, K. C. **Perspectivas e desafios do desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil**. 2022. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2022.

CUNHA, G. S.; SILVA, J. A.; SILVA, W. G. Desenvolvimento Sustentável e a Energia Eólica no Brasil. *Revista De Economia Mackenzie*, 21(1), 2024, 183–210.

FREIRE, A. I.; FONTGALLAND, I. L. Perspectivas e desafios econômicos da geração de energia eólica na região Nordeste do Brasil. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, e58911125429, 2022.

GONZÁLEZ, M.; GABRIEL, M.; AYLLA, M. et al. Operação e manutenção de parques eólicos do Brasil: desafios e oportunidades. *Brazil Windpower Conference and Exhibition*, São Paulo, 2023.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LOPES, S. C. **Impacto na estabilidade do sistema elétrica causado pela intermitência da geração eólica**. 2023. 179f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2023.

PAGEL, U. R.; CAMPOS, A. F.; CAROLINO, J. Análise dos principais desafios ao desenvolvimento das energias renováveis no Brasil. **XICBPE** - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Cuiabá, set. 2018.

PIRES, C. A.; COSTA, L. P. O avanço da energia eólica offshore no mundo e no Brasil. **XXXII CIC** - Congresso de Iniciação Científica, São Paulo, 2023.

ROSA, B. P. **Impacto da geração eólica na inércia e estabilidade de frequência de sistemas de energia elétrica**. 2019. 80f. Projeto (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, P. E. L.; ARAÚJO, F. J. C. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. São Paulo, v.9.n.06. jun. 2023.

SILVA, A. M. B.; OLIVEIRA, L. B.; FONSECA, L. S. G. et al. Energia eólica no Brasil: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. *Revista Ft*, vol. 27, ed. 127, out. 2023.

SILVA, F. B.; OLIVEIRA, A. C. Potenciais tecnologias da indústria 4.0 no setor da energia eólica: uma revisão literária. *Revista Produção e Desenvolvimento*, [s. l], v. 4, n. 1, p. 111-124, jan. 2023.

SILVA, J. A. **Energia eólica no Brasil: Avanços e desafios. Princípios**, v. 42, n. 167, 2023.

TELLES, H. R. J. F. **Impactos da inserção de geração eólica ao sistema interligado nacional com enfoque na matriz elétrica da região nordeste**. 2017. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Paulo Afonso, 2017.

TINOCO, D. J. B. **Indústria 4.0 e energia eólica**: um diagnóstico das empresas de serviços do setor eólico no RN. 2021. 132f. Dissertação (Engenharia da Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2021.

## CAPÍTULO 2

# O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: AVANÇOS, DESAFIOS E IMPACTOS DOS PARQUES EÓLICOS NO CONTEXTO NACIONAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

---

*Data de submissão: 11/10/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **Alvani Bomfim de Sousa Júnior**

Faculdade Jardins e Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6358502728889050>  
<http://orcid.org/0000-0002-8714-4175>

### **Josevania Santos Conceição**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6139138550129629>

### **Emilly Cristine Fonseca Cavalcante**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0007-5192-9636>

### **Kauani Da Silva Cardoso**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0006-2856-8011>

### **Maria Clara Assunção Lemos**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0008-1477-2956>

### **Ramon Gabriel Alves Borges**

Centro de Excelência de Educação Profissional José Figueiredo Barreto Aracaju/Se, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0001-9689-2634>

**RESUMO:** O desenvolvimento da energia eólica no Brasil tem se destacado como uma das principais fontes de energia renovável do país, refletindo um crescente compromisso com a sustentabilidade e a diversificação da matriz energética. No entanto, o crescimento da energia eólica no Brasil também enfrenta desafios que precisam ser abordados para garantir sua sustentabilidade a longo prazo. Neste contexto, é importante destacar que a energia eólica não é apenas uma alternativa energética, mas também uma oportunidade para o Brasil se posicionar como um líder na transição energética global. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento da energia eólica no Brasil, destacando os avanços, desafios e impactos dos parques eólicos no contexto nacional, bem como as perspectivas futuras para essa fonte de energia renovável. Conclui-se que, o

desenvolvimento da energia eólica no Brasil tem avançado significativamente nas últimas décadas, tornando-se uma das principais fontes de energia renovável do país. Esse crescimento não apenas contribui para a diversificação da matriz energética nacional, mas também promove a sustentabilidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Apesar dos avanços, o setor enfrenta desafios que precisam ser superados para garantir sua expansão contínua. Questões regulatórias, como a necessidade de políticas públicas mais robustas e incentivos financeiros, ainda representam obstáculos para investidores e desenvolvedores de projetos eólicos. Além do mais, a instalação de parques eólicos pode estimular a economia regional, criando empregos e melhorando a infraestrutura local. Por fim, as perspectivas futuras para a energia eólica no Brasil são promissoras, com o potencial de expansão em novas áreas e a implementação de tecnologias inovadoras que aumentam a eficiência na geração. O desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia e a integração com outras fontes renováveis, como a solar, podem proporcionar uma oferta energética mais estável e confiável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia eólica. Parques eólicos. Avanços. Desafios. Perspectivas futuras.

## THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY IN BRAZIL: ADVANCES, CHALLENGES AND IMPACTS OF WIND FARMS IN THE NATIONAL CONTEXT AND FUTURE PERSPECTIVES

**ABSTRACT:** The development of wind energy in Brazil has stood out as one of the country's main sources of renewable energy, reflecting a growing commitment to sustainability and diversification of the energy matrix. However, the growth of wind energy in Brazil also faces challenges that need to be addressed to ensure its long-term sustainability. In this context, it is important to highlight that wind energy is not only an energy alternative, but also an opportunity for Brazil to position itself as a leader in the global energy transition. Thus, this paper aims to analyze the development of wind energy in Brazil, highlighting the advances, challenges and impacts of wind farms in the national context, as well as the future prospects for this renewable energy source. It is concluded that the development of wind energy in Brazil has advanced significantly in recent decades, becoming one of the country's main sources of renewable energy. This growth not only contributes to the diversification of the national energy matrix, but also promotes sustainability and the reduction of greenhouse gas emissions. Despite the advances, the sector faces challenges that need to be overcome to ensure its continued expansion. Regulatory issues, such as the need for more robust public policies and financial incentives, still represent obstacles for investors and developers of wind projects. Furthermore, the installation of wind farms can stimulate the regional economy, creating jobs and improving local infrastructure. Finally, the future prospects for wind energy in Brazil are promising, with the potential for expansion into new areas and the implementation of innovative technologies that increase generation efficiency. The development of energy storage systems and integration with other renewable sources, such as solar, can provide a more stable and reliable energy supply.

**KEYWORDS:** Wind energy. Wind farms. Advances. Challenges. Future prospects.

## 1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da energia eólica no Brasil tem se destacado como uma das principais fontes de energia renovável do país, refletindo um crescente compromisso com a sustentabilidade e a diversificação da matriz energética. Desde a década de 2000, o Brasil tem investido significativamente na construção de parques eólicos, especialmente na região Nordeste, que possui um potencial eólico considerável devido às suas condições climáticas favoráveis. A expansão da energia eólica não apenas contribui para a redução da dependência de fontes fósseis, mas também para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de combate às mudanças climáticas.

No entanto, o crescimento da energia eólica no Brasil também enfrenta desafios que precisam ser abordados para garantir sua sustentabilidade a longo prazo. Entre os principais obstáculos estão a necessidade de investimentos em infraestrutura, a interconexão da rede elétrica e questões regulatórias que podem impactar o desenvolvimento de novos projetos. Além disso, é fundamental considerar os impactos sociais e ambientais associados à instalação de parques eólicos, que podem afetar comunidades locais e ecossistemas. Portanto, é imprescindível uma abordagem equilibrada que leve em conta tanto os benefícios econômicos e ambientais da energia eólica quanto as possíveis repercussões para as populações afetadas.

Neste contexto, é importante destacar que a energia eólica não é apenas uma alternativa energética, mas também uma oportunidade para o Brasil se posicionar como um líder na transição energética global. Com um potencial ainda subutilizado, o país pode explorar ainda mais suas capacidades eólicas, promovendo inovação tecnológica e atraindo investimentos. A compreensão dos avanços, desafios e impactos dos parques eólicos no Brasil é essencial para traçar diretrizes que garantam uma expansão responsável e eficaz dessa fonte de energia, beneficiando a economia e a sociedade de forma sustentável.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento da energia eólica no Brasil, destacando os avanços, desafios e impactos dos parques eólicos no contexto nacional, bem como as perspectivas futuras para essa fonte de energia renovável.

Nesse contexto, a escolha de analisar o desenvolvimento da energia eólica no Brasil é justificada pela crescente importância dessa fonte de energia renovável no cenário energético nacional e global. Com a crescente demanda por soluções sustentáveis, a energia eólica se apresenta como uma alternativa viável para diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, o Brasil possui um potencial eólico significativo, especialmente na região Nordeste, que ainda pode ser explorado. Compreender os avanços, desafios e impactos da energia eólica é essencial para promover uma transição energética que beneficie não apenas a economia, mas também a sociedade e o meio ambiente.

Outro aspecto relevante é o papel da energia eólica no desenvolvimento econômico regional e na criação de empregos. A instalação de parques eólicos não só impulsiona a geração de energia limpa, mas também gera oportunidades de emprego nas comunidades locais, contribuindo para o fortalecimento da economia regional. No entanto, essa expansão deve ser feita de maneira responsável, levando em consideração os impactos sociais e ambientais associados. Portanto, a realização deste estudo se torna crucial para subsidiar políticas públicas e práticas empresariais que promovam um desenvolvimento sustentável e equilibrado da energia eólica no Brasil, assegurando que os benefícios sejam amplamente distribuídos entre todas as partes interessadas.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia deste estudo é baseada em uma pesquisa bibliográfica, que se caracteriza pela análise crítica e sistemática da produção acadêmica já existente sobre um determinado tema. Segundo Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é uma abordagem que permite ao pesquisador conhecer o estado da arte sobre o assunto em questão, proporcionando um embasamento teórico sólido para a discussão. Essa metodologia é especialmente útil para compreender os avanços, desafios e impactos da energia eólica no Brasil, uma vez que permite acessar e sintetizar diferentes perspectivas e informações disponíveis na literatura.

Para a realização da pesquisa bibliográfica, foram utilizadas bases de dados reconhecidas na área acadêmica, como Scielo e Google Scholar. As palavras-chave utilizadas nas buscas incluíram “energia eólica no Brasil”, “desenvolvimento de parques eólicos”, “impactos da energia eólica”, “desafios da energia eólica” e “sustentabilidade da energia eólica”. Essas palavras-chave foram escolhidas com o intuito de abranger uma ampla gama de publicações relacionadas ao tema, permitindo uma análise mais completa e diversificada.

O recorte temporal da pesquisa abrangeu os últimos 10 anos, de 2014 a 2024, a fim de garantir que as informações coletadas sejam recentes e relevantes. Os critérios de inclusão consistiram em artigos, teses e dissertações que abordassem especificamente o desenvolvimento da energia eólica no Brasil, publicações em periódicos indexados, e documentos oficiais que discutissem políticas e regulamentações do setor. Por outro lado, foram excluídos materiais que não apresentassem foco no contexto brasileiro, publicações de fontes não confiáveis ou sem revisão por pares, e documentos que tratassesem de energia eólica de forma superficial ou geral, sem uma análise crítica substancial. Essa abordagem assegurou que a pesquisa fosse realizada de maneira rigorosa e que as informações coletadas fossem pertinentes e de qualidade.

## 3 | DISCUSSÃO TEÓRICA

### 3.1 Histórico da Energia Eólica no Brasil

A energia eólica no Brasil possui um histórico que remonta ao início do século XX, embora seu desenvolvimento efetivo como fonte de energia renovável tenha começado a ganhar destaque apenas nas últimas duas décadas. No começo, as turbinas eólicas eram utilizadas de forma experimental e em pequenas escalas, principalmente em áreas rurais, onde a eletrificação ainda era um desafio. Com o passar dos anos, e especialmente a partir da década de 1990, o país começou a observar um interesse crescente por fontes de energia alternativas, impulsionado pela necessidade de diversificação da matriz energética e pela busca por soluções mais sustentáveis para a geração de eletricidade (SAMPAIO E BATISTA, 2021).

Em 2001, Pinto et al. (2017) pontuam que, o Brasil vivenciou uma crise energética significativa, que culminou em racionamentos de energia. Esse cenário trouxe à tona a urgência de se explorar fontes de energia renováveis, incluindo a energia eólica. O governo federal implementou uma série de políticas e incentivos para fomentar o investimento em parques eólicos. Nesse período, foi criada a Lei de Incentivo às Energias Renováveis, que estabeleceu diretrizes para o desenvolvimento e a implementação de projetos eólicos, além de facilitar o acesso ao financiamento para novos empreendimentos. A partir de então, o país começou a registrar um crescimento acelerado no número de parques eólicos, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, onde as condições climáticas se mostraram favoráveis à geração eólica.

Desde 2010, a energia eólica no Brasil passou a se consolidar como uma das principais fontes de energia renovável, com a realização de leilões específicos para a contratação de energia eólica. A partir de 2013, o Brasil se destacou como um dos líderes mundiais na geração de energia eólica, atraindo investimentos significativos tanto de empresas nacionais quanto internacionais. Além disso, o país passou a integrar a lista dos dez maiores produtores de energia eólica do mundo, com uma capacidade instalada crescente que chega a ultrapassar os 20 GW. Esse crescimento não apenas contribuiu para a redução da dependência de fontes fósseis de energia, mas também promoveu benefícios econômicos, como a geração de empregos e o desenvolvimento de tecnologias locais (CUNHA et al. 2019).

O sucesso da energia eólica no Brasil também se deve a fatores como a cooperação entre o governo e o setor privado, que possibilitou a criação de um ambiente favorável ao investimento em energia renovável. No entanto, desafios ainda persistem, como a necessidade de melhorar a infraestrutura de transmissão e a integração da energia eólica na matriz energética nacional. À medida que o Brasil continua a explorar seu potencial eólico, as perspectivas futuras incluem não apenas o aumento da capacidade instalada, mas também a implementação de novas tecnologias e práticas sustentáveis que garantam

a eficiência e a competitividade do setor no mercado global (PINTO et al. 2017).

### **3.2 Avanços Tecnológicos e Inovação**

Nos últimos anos, segundo Coletta et al. (2022) os avanços tecnológicos e inovações no setor de energia eólica têm sido fundamentais para o aumento da eficiência e competitividade dos parques eólicos em todo o mundo, incluindo o Brasil. O desenvolvimento de novas tecnologias de turbinas eólicas, por exemplo, tem permitido a geração de energia em uma variedade de condições climáticas, ampliando a viabilidade de projetos em regiões antes consideradas inadequadas para a instalação de usinas eólicas. As turbinas modernas possuem lâminas mais longas e mais leves, que permitem captar um maior volume de vento e, consequentemente, aumentar a produção de energia. Além disso, a introdução de sistemas de controle avançados possibilita que as turbinas ajustem automaticamente seu ângulo em resposta a mudanças na velocidade do vento, maximizando a eficiência e a segurança operacional.

Outro aspecto relevante dos avanços tecnológicos para Lopes et al. (2020), é a implementação de soluções de armazenamento de energia e integração com redes inteligentes. Com a intermitência da geração eólica, é crucial contar com sistemas que possam armazenar a energia gerada em períodos de alta produção para ser utilizada durante momentos de baixa geração. O desenvolvimento de baterias de alta capacidade e sistemas de gerenciamento de energia tem proporcionado uma maior estabilidade na oferta de energia eólica, tornando-a mais confiável. As redes inteligentes, por sua vez, são capazes de otimizar a distribuição da energia gerada, melhorando a resposta às demandas do consumidor e minimizando perdas. Essas inovações têm contribuído significativamente para que a energia eólica se torne uma parte fundamental da matriz energética, oferecendo uma alternativa mais sustentável em comparação às fontes tradicionais de energia.

As inovações não se restringem apenas ao desenvolvimento de tecnologias específicas para as turbinas eólicas, mas também abrangem práticas de operação e manutenção. A utilização de drones e sensores IoT (Internet das Coisas) para monitoramento e inspeção de turbinas, por exemplo, permite que as empresas realizem manutenções preditivas e evitem paradas inesperadas, resultando em ganhos de eficiência. A análise de dados em tempo real, possibilitada por tecnologias digitais, permite uma gestão mais precisa das operações, identificando padrões que podem levar a melhorias contínuas. Essa transformação digital está revolucionando o setor, permitindo que as empresas se tornem mais competitivas e ágeis em um mercado que evolui rapidamente (ARAÚJO E GOMES, 2022).

Além disso, Tinoco (2021) pontua que, a colaboração entre instituições de pesquisa, universidades e empresas do setor tem sido essencial para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas. A troca de conhecimentos e a realização de projetos conjuntos têm

acelerado a inovação e o aprimoramento das tecnologias existentes. Iniciativas voltadas para a formação de mão de obra qualificada e a capacitação profissional também têm sido fundamentais para garantir que os profissionais do setor estejam preparados para lidar com as novas tecnologias e desafios que surgem.

O impacto dessas inovações é evidente não apenas no aumento da capacidade de geração de energia eólica, mas também na redução dos custos de produção. Para Araújo e Gomes (2022), o custo da energia eólica tem caído significativamente nos últimos anos, tornando-a uma das fontes de energia mais competitivas do mercado. Essa redução de custos é impulsionada pela melhoria da eficiência das turbinas, economias em escala devido ao aumento da produção e ao desenvolvimento de tecnologias mais baratas. Como resultado, a energia eólica está se tornando cada vez mais acessível, não apenas em países desenvolvidos, mas também em mercados emergentes, como o Brasil, que possui um grande potencial para expansão.

À medida que o setor de energia eólica avança, é crucial que os países continuem a investir em pesquisa e desenvolvimento, incentivando a inovação e a adoção de novas tecnologias. O futuro da energia eólica está intimamente ligado à capacidade de adaptação e evolução diante das demandas globais por energia limpa e sustentável. Com a combinação de tecnologias avançadas, práticas inovadoras e um ambiente colaborativo, a energia eólica está bem posicionada para desempenhar um papel central na transição para uma matriz energética mais sustentável e resiliente (COLETTA et al. 2022).

### **3.3 Desafios e Impactos do Setor Eólico**

O setor de energia eólica no Brasil, embora apresente um crescimento significativo nos últimos anos, enfrenta diversos desafios que podem impactar sua expansão e eficácia. Um dos principais desafios refere-se às questões regulatórias e financeiras. A estrutura de incentivos e a legislação que regem a instalação e operação de parques eólicos ainda são complexas e, em muitos casos, insuficientes para proporcionar um ambiente favorável ao investimento. A falta de clareza nas normas e regulamentações pode levar a incertezas para investidores e desenvolvedores, o que pode desencorajar novos projetos. Além disso, a dependência de subsídios e incentivos governamentais pode representar um risco, especialmente em contextos de mudanças políticas e econômicas. Os financiamentos disponíveis nem sempre atendem à demanda do setor, sendo necessário buscar alternativas que garantam a viabilidade econômica dos empreendimentos e assegurem a sustentabilidade a longo prazo (GORAYEB et al. 2019).

Outro aspecto crucial é a infraestrutura e logística necessária para a instalação dos parques eólicos segundo Santestevan et al. (2021). A construção e a operação de parques eólicos demandam uma infraestrutura robusta, incluindo estradas, transporte especializado para turbinas e componentes pesados, e conexão à rede elétrica. Muitas regiões com

potencial para energia eólica são remotas, o que torna o acesso mais difícil e encarece os custos de instalação. A necessidade de interligação com a rede elétrica existente também representa um desafio significativo, já que muitas vezes as linhas de transmissão não estão adequadamente dimensionadas ou posicionadas para suportar a geração de energia eólica. A melhoria da infraestrutura e a eficiência logística são, portanto, essenciais para facilitar a instalação e operação desses projetos, garantindo que a energia gerada seja adequadamente distribuída.

Os impactos dos parques eólicos nas comunidades locais e no meio ambiente também precisam ser considerados. A instalação de parques eólicos pode ter repercussões sociais significativas nas comunidades, tanto positivas quanto negativas. Por um lado, a criação de empregos durante a construção e operação dos parques, além de melhorias na infraestrutura local, pode trazer benefícios econômicos. No entanto, também existem preocupações relacionadas à ocupação de terras, deslocamento de comunidades e alterações na paisagem, que podem gerar resistência por parte dos habitantes locais. A interação com a população é fundamental para que os projetos sejam bem aceitos e integrados ao contexto social, evitando conflitos e promovendo o desenvolvimento local (NASCIMENTO et al. 2020).

Além disso, ainda segundo Nascimento et al. (2020), os efeitos ambientais da energia eólica merecem atenção. Embora a energia eólica seja uma fonte de energia renovável e considerada menos poluente, a construção de parques pode impactar ecossistemas locais e a fauna, especialmente aves e morcegos. Estudos têm demonstrado que a localização e o design dos parques podem mitigar esses impactos, mas é crucial realizar avaliações de impacto ambiental rigorosas antes da instalação. O monitoramento contínuo durante e após a operação dos parques é necessário para garantir a sustentabilidade ambiental e reduzir quaisquer efeitos adversos. A implementação de práticas de conservação e a integração de tecnologias que minimizem os impactos sobre a vida selvagem são medidas importantes que o setor deve considerar.

A sustentabilidade do setor eólico também está ligada à necessidade de garantir que os benefícios da energia renovável sejam distribuídos de forma equitativa entre as comunidades afetadas. Para isso, é essencial promover diálogos abertos entre as empresas do setor, o governo e as comunidades locais, visando construir parcerias que assegurem que os investimentos em energia eólica tragam benefícios diretos para os residentes. Incentivos para projetos comunitários e iniciativas que promovam a inclusão social são fundamentais para garantir que a transição energética seja justa e beneficie a todos (GORAYEB et al. 2019).

Com isso, os desafios do setor eólico no Brasil, que incluem questões regulatórias e financeiras, infraestrutura e logística, bem como os impactos sociais e ambientais, exigem uma abordagem integrada e colaborativa. A superação desses desafios é essencial para que a energia eólica possa contribuir de forma significativa para a matriz energética nacional,

promovendo um desenvolvimento sustentável e beneficiando as comunidades locais. Com o planejamento adequado, a inovação e o comprometimento com a sustentabilidade, o setor de energia eólica pode continuar a crescer e se desenvolver, tornando-se uma peça chave na transição para um futuro energético mais limpo e renovável (SANTESTEVAN et al. 2021).

### 3.4 Perspectivas Futuras da Energia Eólica no Brasil

De acordo com Barra e Teixeira (2022), as perspectivas futuras da energia eólica no Brasil são promissoras, com uma série de potenciais novas áreas de investimento que podem impulsionar ainda mais o desenvolvimento deste setor. O país, rico em recursos naturais e com um extenso litoral, possui um potencial significativo para a geração de energia eólica, especialmente nas regiões Nordeste e Sul. O avanço da tecnologia e a crescente demanda por fontes de energia renováveis têm levado investidores a buscar oportunidades em áreas antes não exploradas, como o interior do Brasil, onde a expansão das redes elétricas e a melhoria da infraestrutura viabilizam a instalação de novos parques eólicos. Além disso, a diversificação das fontes de energia e a busca por soluções sustentáveis têm atraído o interesse de empresas que desejam se alinhar às diretrizes de responsabilidade social e ambiental. Assim, novas áreas, como a geração de energia eólica em áreas urbanas e a instalação de turbinas em ambientes offshore, estão se tornando viáveis, ampliando as possibilidades de investimento.

Inovações tecnológicas também desempenham um papel crucial nas perspectivas futuras do setor eólico no Brasil segundo Santos e Araújo (2023). O desenvolvimento de turbinas mais eficientes e com maior capacidade de geração está em constante evolução, permitindo que os parques eólicos operem de forma mais eficaz, mesmo em condições de vento variáveis. Tecnologias avançadas, como o armazenamento de energia eólica em baterias, estão surgindo como uma solução promissora para lidar com a intermitência da geração, garantindo que a energia gerada seja utilizada de maneira otimizada. A digitalização e a automação também têm se mostrado fundamentais, permitindo a monitorização em tempo real e a manutenção preditiva dos equipamentos, aumentando a vida útil dos parques eólicos e reduzindo custos operacionais. Essas inovações não apenas potencializam a eficiência do setor, mas também promovem um ambiente competitivo, atraindo novos investimentos e estimulando o crescimento.

Além disso, Pinto e Santos (2019) pontuam que, as tendências do setor eólico, impulsionadas por políticas governamentais e acordos internacionais em relação às mudanças climáticas, indicam uma forte inclinação para a expansão da energia renovável. Com compromissos globais em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa, a energia eólica está se consolidando como uma solução estratégica para o Brasil atingir suas metas de sustentabilidade. A crescente conscientização sobre os benefícios

da energia limpa, junto com incentivos e financiamentos disponíveis, encoraja tanto empresas quanto governos a investirem no setor. As parcerias entre o setor público e privado também são uma tendência crescente, resultando em projetos mais robustos e sustentáveis. Essa sinergia pode acelerar a implementação de tecnologias inovadoras e fortalecer a infraestrutura necessária para a expansão da energia eólica, fazendo do Brasil um protagonista no cenário global de energia renovável.

Por fim, o futuro da energia eólica no Brasil está repleto de oportunidades, desde novas áreas de investimento até inovações tecnológicas que prometem transformar o setor. Para Barra e Teixeira (2023), com o apoio de políticas públicas e um compromisso crescente com a sustentabilidade, o Brasil tem o potencial de se tornar um líder na geração de energia eólica na América Latina e além. O desafio será garantir que essas oportunidades sejam aproveitadas de maneira equitativa e sustentável, beneficiando não apenas o setor energético, mas também as comunidades locais e o meio ambiente como um todo. A combinação de recursos naturais abundantes, inovação tecnológica e um ambiente regulatório favorável poderá posicionar a energia eólica como uma das principais fontes de energia do país nos próximos anos, contribuindo significativamente para uma matriz energética diversificada e sustentável.

### **3.5 Contribuição da Energia Eólica para a Sociedade**

A energia eólica desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, sendo uma das fontes de energia renovável mais promissoras para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ao gerar eletricidade por meio do aproveitamento do vento, os parques eólicos contribuem significativamente para a diminuição da dependência de combustíveis fósseis, que são os principais responsáveis pelas emissões de GEE, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ). A substituição das usinas térmicas, que utilizam carvão ou gás natural para produzir energia, por parques eólicos resulta em uma redução direta da poluição atmosférica, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas. Em várias regiões do Brasil, a expansão da energia eólica tem se mostrado uma alternativa eficaz para a diversificação da matriz energética, ao mesmo tempo em que gera impactos positivos sobre o meio ambiente (PINTO, 2017).

Inclusive, Simas (2023) pontua que, a energia eólica está alinhada com as metas climáticas globais estabelecidas por acordos internacionais, como o Acordo de Paris. Este pacto visa limitar o aumento da temperatura global e promover ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo. O Brasil, ao se comprometer com essas metas, vê na energia eólica uma oportunidade não apenas de atender a compromissos internacionais, mas também de liderar a transição energética em uma direção mais sustentável. A adoção de políticas públicas que incentivem o investimento em energia eólica, como leilões de energia, subsídios e financiamento a projetos renováveis,

fortalece a capacidade do país de atingir suas metas climáticas e se posicionar como um modelo de desenvolvimento sustentável. A implementação de tecnologias de energia limpa é uma estratégia eficaz para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono, promovendo não apenas a segurança energética, mas também a justiça social e econômica.

A contribuição da energia eólica para a sustentabilidade vai além da redução das emissões de gases de efeito estufa, englobando aspectos sociais e econômicos que favorecem comunidades locais segundo Pinto (2017). Os projetos de energia eólica frequentemente envolvem investimentos em infraestrutura, como estradas e redes elétricas, que podem beneficiar a população local. Além disso, a criação de empregos na construção e operação de parques eólicos promove o desenvolvimento econômico em regiões que, muitas vezes, enfrentam desafios socioeconômicos. A conscientização sobre os benefícios da energia renovável pode estimular uma cultura de sustentabilidade nas comunidades, encorajando práticas que respeitem o meio ambiente e promovam a conservação dos recursos naturais. Assim, a energia eólica não apenas contribui para a redução das emissões de GEE, mas também fortalece a capacidade das comunidades de se adaptarem às mudanças climáticas, promovendo um futuro mais sustentável e resiliente para as próximas gerações.

Ademais, é importante destacar que o crescimento do setor eólico no Brasil tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias que visam aumentar a eficiência e a viabilidade econômica dos parques eólicos. Iniciativas para aprimorar o armazenamento de energia e integrar fontes renováveis à rede elétrica são exemplos de como a inovação tecnológica está contribuindo para a sustentabilidade. O desenvolvimento de turbinas mais eficientes e a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real têm permitido otimizar a geração de energia e minimizar os impactos ambientais associados. Assim, a energia eólica não apenas contribui para a sustentabilidade no presente, mas também abre caminho para um futuro energético mais inovador e responsável (VITOR, 2022).

Por fim, o potencial da energia eólica se estende ainda mais quando se considera a possibilidade de integração com outras fontes de energia renovável, como a solar. Para Pinto (2017), essa sinergia pode resultar em sistemas híbridos que aproveitam ao máximo as condições climáticas e geográficas, garantindo uma oferta energética mais estável e eficiente. A combinação de diferentes fontes de energia renovável não só diversifica a matriz energética, mas também reduz os custos e aumenta a resiliência das comunidades frente a eventos climáticos adversos. Portanto, a energia eólica se posiciona como uma solução estratégica e viável para enfrentar os desafios energéticos e ambientais do futuro, promovendo um desenvolvimento sustentável que beneficia tanto o planeta quanto as populações que dele dependem.

## 4 | CONCLUSÕES

O desenvolvimento da energia eólica no Brasil tem avançado significativamente nas últimas décadas, tornando-se uma das principais fontes de energia renovável do país. Com um vasto potencial, especialmente nas regiões Nordeste e Sul, o Brasil tem se destacado no cenário internacional, investindo em tecnologia e infraestrutura para aumentar a capacidade instalada de geração eólica. Esse crescimento não apenas contribui para a diversificação da matriz energética nacional, mas também promove a sustentabilidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa. A energia eólica se mostra como uma alternativa viável e eficiente, refletindo o compromisso do país com o desenvolvimento sustentável e a mitigação das mudanças climáticas.

Apesar dos avanços, o setor enfrenta desafios que precisam ser superados para garantir sua expansão contínua. Questões regulatórias, como a necessidade de políticas públicas mais robustas e incentivos financeiros, ainda representam obstáculos para investidores e desenvolvedores de projetos eólicos. Além disso, a infraestrutura e a logística para a instalação e operação de parques eólicos requerem melhorias significativas, especialmente em áreas remotas onde os ventos são mais favoráveis. Esses desafios exigem um diálogo contínuo entre os setores público e privado, a fim de criar um ambiente favorável ao investimento e à inovação tecnológica.

Os impactos dos parques eólicos vão além da geração de energia, trazendo benefícios sociais e econômicos para as comunidades locais. A instalação de parques eólicos pode estimular a economia regional, criando empregos e melhorando a infraestrutura local. No entanto, é crucial que os projetos sejam desenvolvidos de maneira responsável, considerando a participação das comunidades afetadas e minimizando os impactos ambientais. A educação e a conscientização sobre os benefícios da energia renovável são fundamentais para garantir o apoio da população local e promover uma transição energética justa e inclusiva.

As perspectivas futuras para a energia eólica no Brasil são promissoras, com o potencial de expansão em novas áreas e a implementação de tecnologias inovadoras que aumentam a eficiência na geração. O desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia e a integração com outras fontes renováveis, como a solar, podem proporcionar uma oferta energética mais estável e confiável. À medida que o mundo avança para um modelo energético mais sustentável, o Brasil tem a oportunidade de liderar essa transição, aproveitando seu potencial eólico e contribuindo para um futuro mais sustentável, tanto a nível nacional quanto global. A continuidade dos investimentos, a inovação tecnológica e o comprometimento com a sustentabilidade são essenciais para que o país alcance suas metas climáticas e promova o bem-estar das futuras gerações.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W. C.; GOMES, E. S. Inovação tecnológica no uso de energias renováveis: o caso dos parques eólicos brasileiros. **Anais do II Simpósio Nacional Espaço, Economia e Políticas Públicas**, 17 a 19 de Outubro de 2022.
- BARRA, M. M.; TEIXEIRA, W. C. Energia eólica: panorama atual e perspectivas futuras. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 10, n. 3, 2022, p.630-651.
- COLETTA, N. D.; NUNES, A.; PAIVA, J. M. F. et al. Avaliação de oportunidades e tecnologias de energia eólica offshore no Brasil. **XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, out. 2022.
- CUNHA, E. A. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. et al. Aspectos histórico da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.4, p.689- 697, 2019.
- GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A. **Impactos socioambientais a implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Edição UFC, 2019.
- LOPES, D. M.; LOPES, A. S. M.; CAMPOS, L. C. R. Tecnologias de aerogeradores aplicados em sistemas de geração de energia elioelétrica. **Projectus**, v. 5, n. 2, 2020.
- NASCIMENTO, T. S. S.; SOUZA, F. O.; MORAIS, L. A. et al. Percepção dos impactos socioambientais da energia eólica no Sertão Paraibano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.2, 2020, 099-109.
- PINTO, L. I. C. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Rev. Ambient. Água** 12 (6), Dez 2017.
- PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente & Água**, 12(6), 2017, 1082-1100.
- PINTO, R. J.; SANTOS, V. M. L. Energia eólica no Brasil: evolução, desafios e perspectivas. **RISUS – Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 10, n.1, p124-142., Mar/Maio 2019.
- SAMPAIO, K. R. A.; BATISTA, V. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e57710112107, 2021.
- SANTESTEVAN, W. H.; PEYERL, D.; D'AQUINO, C. A. Possibilidades e desafios para inserção da geração eólica offshore no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 27, Nº 4, 4º Trimestre de 2021.
- SANTOS, P. E. L.; ARAÚJO, F. J. C. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.9.n.06. jun. 2023.
- SIMAS, M. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estud. av.** 27 (77), 2023.
- TINOCO, D. J. B. **Indústria 4.0 e energia eólica**: um diagnóstico das empresas de serviços do setor eólico no RN. 2021. 132f. Dissertação (Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2021.

VITOR, R. R. A energia eólica e sua relação com o desenvolvimento sustentável no Brasil. **Estudos Avançados**. v. 26 (74), 2022, p. 65-92.

# CAPÍTULO 3

## ANÁLISE COMPARATIVA DAS AVARIAS POR LUBRIFICAÇÃO EM MOTOR 1.0 DE UM VEÍCULO POPULAR, RESSALTANDO A SEGURANÇA: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL VERSUS INTELIGÊNCIA HUMANA

*Data de submissão: 20/09/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

PPGEM-CP - Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Mecânica PP/CP  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Emerson Ravazzi Pires da Silva**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

### **Marcos Dantas de Oliveira**

IDEE Energia  
Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/5329306535174160>

### **Henrique Cavalieri Agonilha**

Universidade Filadélfia (Unifil)  
Londrina - PR

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

### **Adriana Giseli Leite Carvalho**

UniSENAIPR-Campus Londrina  
Londrina-PR

<http://lattes.cnpq.br/2967212265737410>

### **Marcos Banheti Rabello Vallim**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR

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

### **Adriano Prado de Souza**

Copel Distribuição Ltda  
Londrina-PR

<https://orcid.org/0009-0000-5256-1246>

### **Angelo Feracin Neto**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR

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

### **Marcos Antônio de Matos Laia**

Universidade Federal de São João Del Rei  
Departamento De Ciência Da Computação

– UFSJ

São João Del Rei - MG

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

**Marcio Jacometti**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico das Ciências  
Humanas e Sociais Aplicadas (Dachs)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

**Darlen Borges Coutinho**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Discente PPGEM-CP-Programa de Pós-  
graduação em Engenharia Mecânica PP/CP  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9224912156042005>

**Fabio Rodrigo Milanez**

UniSENAIPR-Campus Londrina  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

**Marta Rúbia Pereira dos Santos**

Centro Paula Souza  
ETEC Jacinto Ferreira de Sá  
Ourinhos - SP  
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

**Iago Maran Machado**

Egresso Engenharia Mecânica pela  
Universidade Tecnológica Federal  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

**Vicente Roque da Rosa Filho**

Sindicato da Indústria de Reparação de  
Veículos e Acessórios de Bandeirantes  
Bandeirantes - PR  
<https://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindirepabandeirantes-1-17007-130693.shtml>

**Vicente de Lima Gongora**

UniSENAIPR-Campus Londrina  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

**Janaína Fracaro de Souza Gonçalves**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
PPGEM-CP - Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Mecânica PP/CP  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

**RESUMO:** A lubrificação adequada é crucial para motores de carros populares 1.0. A engenharia de segurança, potencializada pela IA e engenharia de prompt, é essencial para prevenir falhas. Este estudo visa analisar avarias por lubrificação inadequada, compilar melhores práticas e explorar como a engenharia de prompt optimiza a interação homem-máquina na análise de dados e manutenção preditiva. A metodologia inclui revisão bibliográfica e análise de aplicações da engenharia de prompt. A integração de inteligência humana e artificial, mediada por prompts bem elaborados, promete revolucionar a segurança em sistemas de lubrificação, resultando em monitoramento mais eficiente, manutenção precisa e maior segurança operacional para o motor 1.0. Este trabalho se encerra com uma conclusão e sugere futuros trabalhos

**PALAVRAS-CHAVE:** Avarias, Lubrificação, Motor, Desgaste, Inteligência Artificial.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF LUBRICATION FAILURES IN A 1.0 ENGINE OF A POPULAR VEHICLE, EMPHASIZING SAFETY: ARTIFICIAL INTELLIGENCE VERSUS HUMAN INTELLIGENCE

**ABSTRACT:** Proper lubrication is crucial for popular 1.0 car engines. Security engineering, powered by AI and prompt engineering, is essential to prevent failures. This study aims to analyze breakdowns due to inadequate lubrication, compile best practices, and explore how prompt engineering optimizes human-machine interaction in data analysis and predictive maintenance. The methodology includes a literature review and analysis of prompt engineering applications. The integration of human and artificial intelligence, mediated by well-designed prompts, promises to revolutionize safety in lubrication systems, resulting in more efficient monitoring, accurate maintenance, and excellent operational safety for the 1.0 engine. This work ends with a conclusion and suggestions for future work.

**KEYWORDS:** Breakdowns, Lubrication, Engine, Wear, Artificial Intelligence.

## 1 | INTRODUÇÃO

A lubrificação adequada é fundamental para o funcionamento eficiente e seguro de motores de combustão interna, como destaca Brunetti (2018). No caso específico do motor 1.0, amplamente utilizado em veículos populares, a qualidade e o controle dos lubrificantes são cruciais para evitar avarias e garantir a segurança operacional (DE ABREU, 2023). Este motor, conhecido por sua robustez, também apresenta vulnerabilidades associadas a falhas no sistema de lubrificação, que podem comprometer seu desempenho, durabilidade e, principalmente, a segurança dos usuários (AKPOMON, 2022).

Estudos recentes, como Silva e Silva (2024), têm enfatizado a importância de entender as causas e os efeitos das avarias relacionadas à lubrificação neste modelo específico, dada a sua popularidade e aplicação em larga escala. A engenharia de segurança desempenha um papel crucial neste contexto, buscando identificar, avaliar e mitigar riscos associados à lubrificação inadequada, que podem resultar em falhas catastróficas do motor, como por exemplo retifica (ABNT, 1996).

A motivação para a realização deste estudo reside na alta incidência de problemas

associados à lubrificação inadequada no motor 1.0, que resultam não apenas em custos elevados de manutenção e reparo, mas também em potenciais riscos à segurança dos ocupantes do veículo. A literatura existente sobre o tema ainda é escassa e fragmentada, o que dificulta a identificação precisa das causas dessas avarias e a implementação de medidas preventivas eficazes do ponto de vista da engenharia de segurança.

O principal objetivo deste artigo é realizar um comparativo entre uma análise feita por um engenheiro, inteligência humana versus inteligência artificial e sobre a segurança de possíveis avarias causadas por lubrificação no motor 1.0, analisando os fatores que contribuem para tais falhas e as consequências para o desempenho e segurança do motor. Pretende-se, ainda, compilar as melhores práticas de lubrificação recomendadas na literatura, buscando orientar profissionais e proprietários na adoção de métodos que minimizem o risco de avarias e aumentem a segurança operacional.

A metodologia adotada neste trabalho consistirá em uma revisão bibliográfica sistemática, envolvendo a pesquisa e análise de artigos científicos, livros, manuais técnicos e relatórios de caso que tratem do tema. Serão selecionadas fontes que abordem as especificidades do motor 1.0, com foco nas práticas de lubrificação, nas falhas decorrentes de procedimentos inadequados e nas implicações para a segurança do veículo.

Comparativo entre inteligência humana e artificial na engenharia de segurança:

No contexto da engenharia de segurança aplicada à lubrificação de motores, é relevante considerar o papel da inteligência humana e artificial:

1. Inteligência Humana:

- Vantagens: Experiência prática, intuição, capacidade de lidar com situações imprevistas.
- Limitações: Fadiga, erro humano, inconsistência na tomada de decisões.

2. Inteligência Artificial:

- Vantagens: Análise rápida de grandes volumes de dados, detecção precoce de padrões de falha, consistência na aplicação de protocolos de segurança.
- Limitações: Dependência da qualidade dos dados de treinamento, dificuldade em lidar com situações totalmente novas.

A engenharia de prompt se torna essencial neste cenário, pois permite que engenheiros e técnicos formulem perguntas e instruções precisas para os sistemas de I.A. (MENDONÇA, et al, 2024)., garantindo que as respostas geradas sejam diretamente aplicáveis aos desafios específicos da lubrificação do motor 1.0. Isso pode resultar em:

1. Sistemas de monitoramento mais eficientes, capazes de interpretar corretamente os dados de sensores e alertar sobre potenciais problemas de lubrificação.
2. Manutenção preditiva mais precisa, com a I.A. fornecendo recomendações personalizadas baseadas no histórico e condições atuais do motor.

3. Maior segurança operacional, através da identificação precoce de padrões de desgaste ou falha que poderiam passar despercebidos pela análise humana isolada.

Ao incorporar a engenharia de prompt na interação entre profissionais humanos e sistemas de I.A., a engenharia de segurança pode alcançar um novo patamar de eficácia na prevenção e mitigação de riscos associados à lubrificação inadequada em motores de combustão interna, como motor 1.0 encontrado na maioria dos carros populares.

Este artigo está organizado em quatro seções principais. Na primeira seção, será apresentada a contextualização e o estado da arte sobre lubrificação de motores, com ênfase no motor 1.0. Na segunda seção, serão discutidas as principais avarias associadas à lubrificação inadequada e uma análise das práticas recomendadas para a lubrificação deste motor. A terceira seção abordará as lacunas de pesquisa identificadas e apresentará as conclusões e sugestões para futuras pesquisas. Por fim, a quarta seção abordará as referências bibliográficas e fontes de pesquisa.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO MECÂNICA

Para garantir o bom funcionamento e a longevidade do seu motor 1.0, siga este *checklist* de manutenção:

- **Óleo e Filtro:** No caso do lubrificante sintético, troque a cada 10.000 km ou 6 meses e utilize o lubrificante recomendado pelo manual.
- **Correia Dentada:** Verifique e troque a cada 60.000-80.000 km ou 4 anos (Em motores que possuem correia dentada).
- **Velas de Ignição:** Inspecione a cada 20.000 km e troque a cada 40.000 km.
- **Sistema de Arrefecimento:** Verifique nível do fluido e mangueiras a cada 10.000 km, troque fluido a cada 2 anos ou 40.000 km.
- **Filtros de Ar e Combustível:** Troque a cada 10.000-15.000 km e 20.000-30.000 km, respectivamente.
- **Correia Alternadora:** Inspecione a cada 20.000 km.
- **Bomba de Combustível:** Verifique o funcionamento regularmente.
- **Sistema de Escape:** Verifique vazamentos, corrosão e ruídos.
- **Bateria:** Inspecione terminais e carga regularmente.
- **Vazamentos de Óleo:** Verifique regularmente e corrija.
- **Catalisador:** Verifique o funcionamento.
- **Coxins do Motor:** Inspecione e substitua se necessário.

Ignorar a manutenção pode levar a falhas graves no motor, aumento no consumo de combustível e custos elevados de reparo.

**Recomendação:** Consulte o manual do proprietário para informações mais precisas e procure um profissional qualificado para realizar a manutenção.

Ao seguir este *checklist*, você garante a segurança, o desempenho e a durabilidade do seu veículo.

### 3 I TÓPICOS PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO MOTOR 1.0:

**A manutenção preventiva do motor 1.0 é essencial para garantir sua durabilidade e a segurança do veículo.** A negligência nesse cuidado pode levar a falhas graves e custos elevados.

**Itens cruciais da manutenção:** troca regular de óleo e filtro, verificação do sistema de arrefecimento, inspeção de correias, velas e outros componentes.

**O não cumprimento da manutenção pode resultar em:**

- **Quebra do motor:** Falhas na correia dentada podem causar danos irreparáveis ao motor.
- **Superaquecimento:** Problemas no sistema de arrefecimento levam ao superaquecimento, danificando componentes internos.
- **Perda de potência:** Velas de ignição desgastadas causam falhas na combustão, reduzindo a potência do motor.
- **Aumento do consumo de combustível:** Componentes desgastados aumentam o consumo de combustível.
- **Falhas inesperadas:** Problemas não detectados podem levar a pane do veículo em situações inesperadas.

Em resumo, a manutenção preventiva é um investimento que garante a segurança, o desempenho e a longevidade do motor 1.0. Ao seguir as recomendações do fabricante e realizar as manutenções indicadas, você evita problemas maiores e economiza dinheiro a longo prazo (JAIN; JAIN, 2018).

**Ignorar a manutenção pode resultar em:**

- **Custos elevados com reparos:** Reparos em um motor com problemas são mais caros do que a manutenção preventiva.
- **Risco de acidentes:** Falhas mecânicas podem causar acidentes, colocando em risco a vida das pessoas.
- **Perda de valor do veículo:** Um veículo com histórico de manutenção inadequada perde valor de mercado.

É fundamental realizar a manutenção em oficinas especializadas, utilizando peças originais ou de fabricantes confiáveis e seguir as recomendações do manual do proprietário.

**Laudo Técnico: Importância do Óleo de Motor para o Funcionamento Eficiente e Durabilidade de Motores a Combustão Interna**

O presente laudo técnico tem como objetivo analisar a importância crucial do óleo de motor para o funcionamento adequado e a longevidade de motores a combustão interna, utilizando como exemplo o estudo realizado por Brunetti em 2018. Será demonstrado como a lubrificação adequada é fundamental para garantir a performance e a vida útil do motor, bem como os riscos associados à utilização de óleos inadequados ou à falta de manutenção.

### **Desenvolvimento:**

O óleo de motor desempenha um papel multifacetado no funcionamento de um motor a combustão interna. Suas principais funções são:

- **Lubrificação:** Ao criar uma película lubrificante entre as superfícies metálicas em contato, o óleo reduz significativamente o atrito e o desgaste, prolongando a vida útil de componentes como pistões, cilindros e bielas.
- **Resfriamento:** O óleo absorve o calor gerado durante a combustão, dissipando-o para as paredes do motor e auxiliando na manutenção da temperatura ideal de operação.
- **Limpeza:** O óleo atua como um agente de limpeza, capturando partículas de metal e impurezas resultantes da combustão, evitando a formação de depósitos que podem obstruir passagens e prejudicar o desempenho do motor.
- **Selagem:** O óleo auxilia na vedação entre as peças móveis, evitando vazamentos e garantindo a compressão necessária para a combustão eficiente.

### **Consequências da Lubrificação Inadequada:**

A utilização de óleo de motor inadequado ou a negligência na manutenção do sistema de lubrificação podem levar a diversas consequências negativas, tais como:

- **Aumento do desgaste:** A falta de lubrificação adequada acelera o desgaste das peças móveis, reduzindo a vida útil do motor e aumentando os custos de manutenção.
- **Superaquecimento:** A dificuldade em dissipar o calor gerado pela combustão pode levar ao superaquecimento do motor, causando danos irreversíveis.
- **Aumento do consumo de combustível:** O atrito excessivo causado pela falta de lubrificação aumenta o consumo de combustível.
- **Falhas mecânicas:** A falha prematura de componentes como bielas, virabrequins e rolamentos pode levar à imobilização do veículo e a custos elevados de reparo.

### **Recomendações:**

Para garantir o bom funcionamento e a longevidade do motor, recomenda-se:

- **Utilizar o óleo recomendado pelo fabricante:** Cada motor possui especificações próprias em relação ao tipo de óleo e viscosidade.
- **Respeitar os intervalos de troca de óleo:** A troca regular do óleo é fundamental

tal para garantir a qualidade da lubrificação e a remoção de impurezas.

- **Verificar o nível de óleo regularmente:** A falta de óleo pode causar danos irreversíveis ao motor.
- **Realizar a manutenção preventiva:** A inspeção periódica do sistema de lubrificação, incluindo o filtro de óleo, é essencial para identificar e corrigir possíveis problemas.

O óleo de motor desempenha um papel fundamental na vida útil e no desempenho de um motor a combustão interna. A escolha do óleo adequado e a manutenção regular do sistema de lubrificação são essenciais para garantir a eficiência, a durabilidade e a segurança do veículo. A negligência em relação à lubrificação pode levar a consequências graves e onerosas, comprometendo a vida útil do motor e a segurança dos ocupantes.

**Observação:** Este laudo técnico tem caráter informativo e não substitui a consulta a um profissional especializado. Desenvolvido por um profissional com formação em engenharia mecânica com anos de experiência na manutenção de motores a combustão.

Recomenda-se seguir as orientações do fabricante do veículo e realizar a manutenção em oficinas qualificadas.

Ressalta-se que esse caráter é de cunho científico, posto isso, dados do engenheiro não serão fornecidos para a integridade profissional do mesmo

#### **Referências\_Laudo:**

- BRUNETTI, A. Lubrificantes e lubrificação. 1. ed. São Paulo: Editora Técnica, 2018.
- SILVA, Gustavo; SILVA, Sávio. **A Importância da Lubrificação em Motores de Combustão Interna.** 2024.

#### **Laudo feito por uma Inteligência Artificial**

Laudo Técnico I.A.: Importância do Óleo de Motor para o Funcionamento Eficiente de Motores a Combustão Interna

#### **Elaborado por:** Inteligência Artificial - Simulação de Engenheiro Mecânico

O presente laudo técnico tem como objetivo analisar a importância do óleo de motor para o funcionamento adequado de motores a combustão interna, com foco no papel fundamental desempenhado por esse fluido na lubrificação e proteção dos componentes internos.

#### **Funções do Óleo de Motor**

O óleo de motor desempenha diversas funções cruciais no funcionamento de um motor a combustão interna, sendo a lubrificação a principal delas. Ao formar uma película lubrificante entre as superfícies metálicas em contato, o óleo:

- **Reduz o atrito:** Minimiza o desgaste das peças móveis, como pistões, cilindros e bielas, prolongando a vida útil do motor.
- **Dissipa o calor:** Auxilia na refrigeração do motor, absorvendo o calor gerado

durante a combustão e transferindo-o para o sistema de arrefecimento.

- **Limpeza:** Captura e retém partículas de sujeira e resíduos, evitando a formação de depósitos que podem obstruir passagens e prejudicar o desempenho do motor.
- **Sela as folgas:** Preenche as pequenas folgas entre as peças móveis, evitando vazamentos e garantindo a vedação adequada.
- **Protege contra corrosão:** Forma uma barreira protetora contra a corrosão, evitando a deterioração dos componentes metálicos.

### **Consequências da Lubrificação Inadequada**

A utilização de um óleo inadequado ou a falta de manutenção do sistema de lubrificação podem levar a diversos problemas, como:

- **Desgaste prematuro:** Aumento do atrito entre as peças, acelerando o desgaste e reduzindo a vida útil do motor.
- **Superaquecimento:** Dificuldade na dissipação do calor, podendo levar a danos irreversíveis no motor.
- **Aumento do consumo de combustível:** Aumento do atrito interno resulta em maior consumo de combustível.
- **Falhas mecânicas:** Podem ocorrer gripamentos, quebra de peças e outras falhas catastróficas.

### **Recomendações**

Para garantir o bom funcionamento e a longevidade do motor, recomenda-se:

- **Utilizar o óleo recomendado pelo fabricante:** Cada motor possui especificações próprias quanto ao tipo e viscosidade do óleo.
- **Respeitar os intervalos de troca:** A troca regular do óleo e do filtro de óleo é fundamental para manter a qualidade do lubrificante.
- **Realizar inspeções periódicas:** Verificar o nível do óleo e o estado das mangueiras e conexões do sistema de lubrificação.
- **Utilizar produtos de qualidade:** Optar por óleos de marcas reconhecidas e que atendam às especificações do fabricante.

O óleo de motor desempenha um papel fundamental na vida útil e no desempenho de um motor a combustão interna. A escolha e a manutenção adequadas do lubrificante são essenciais para garantir a eficiência, durabilidade e segurança do veículo. A negligência nesse aspecto pode levar a custos elevados com reparos e, em casos extremos, à perda total do motor.

Recomenda-se que a manutenção do sistema de lubrificação seja realizada por profissionais qualificados, utilizando peças e produtos originais ou de marcas reconhecidas.

**Observação:** Este laudo técnico tem caráter informativo e não substitui a consulta

a um profissional especializado. Entretanto, a inclusão da I.A. produziu um laudo mais detalhado, a partir do laudo originalmente produzido pelo engenheiro mecânico. Posto isso, pode considerar a inclusão da I.A. é promissora.

## 4 | RESULTADOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados da análise aprofundada sobre os impactos da lubrificação inadequada em motores 1.0 revelaram um cenário preocupante. O uso de óleo lubrificante fora das especificações recomendadas pelo fabricante e a negligência quanto à periodicidade das trocas de óleo emergem como as principais causas de desgaste prematuro de componentes críticos, como mancais, bielas e pistões. Além disso, o comprometimento do sistema de refrigeração do motor, decorrente da lubrificação inadequada, contribui para um aumento significativo na frequência de falhas mecânicas graves (ZHANG, HE,

A manutenção inadequada da lubrificação não apenas reduz a vida útil do motor, mas também pode ocasionar avarias catastróficas, exigindo reparos custosos e, em alguns casos, a substituição completa do motor.

Comparativo entre Análise Humana e Inteligência Artificial (MENDONÇA, et al, 2024):

A análise de avarias em motores, tradicionalmente realizada por profissionais especializados, tem se beneficiado significativamente da integração de ferramentas de inteligência artificial (IA). Enquanto a análise humana se baseia em conhecimentos técnicos e experiência, a IA oferece vantagens como:

- **Processamento massivo de dados:** A IA pode analisar vastas quantidades de dados de sensores, históricos de manutenção e relatórios de avarias, identificando padrões e correlações que seriam difíceis de detectar por um analista humano.
- **Detecção precoce de anomalias:** Algoritmos de aprendizado de máquina podem identificar desvios em relação ao comportamento normal do motor, permitindo a detecção precoce de problemas e a realização de ações preventivas.
- **Diagnóstico preciso:** A IA pode auxiliar na identificação da causa raiz de uma falha, comparando os dados do motor com modelos preditivos e bancos de dados de avarias.
- **Análise preditiva:** Através de técnicas de aprendizado de máquina, a IA pode prever a probabilidade de ocorrência de falhas futuras, permitindo a programação de manutenções preventivas e otimizando a gestão da frota.

A combinação da análise humana e da IA oferece um potencial sinérgico para a melhoria da segurança e confiabilidade dos motores, tanto os atuais quanto os elétricos do futuro. Enquanto os profissionais especializados contribuem com a interpretação dos resultados e a tomada de decisões estratégicas, a IA automatiza e agiliza o processo de

análise de dados, proporcionando insights mais precisos e oportunos (MENDONÇA, 2024).

### **Perspectivas Futuras:**

As perspectivas futuras para a análise de avarias causadas por lubrificação inadequada incluem:

- **Desenvolvimento de sensores inteligentes:** A miniaturização de sensores e a integração de tecnologias sem fio permitirão o monitoramento contínuo do estado do óleo e das condições de operação do motor, em tempo real.
- **Criação de plataformas de análise de dados:** Plataformas baseadas em nuvem integrarão dados de diferentes fontes, como sensores, sistemas de gestão de frota e históricos de manutenção, permitindo a análise completa e integrada do ciclo de vida do motor.
- **Desenvolvimento de modelos preditivos avançados:** A utilização de técnicas de aprendizado profundo e redes neurais permitirá a criação de modelos preditivos mais precisos e robustos, capazes de prever falhas com maior antecedência.
- **Integração com sistemas autônomos:** A IA poderá ser utilizada para otimizar a gestão de frotas autônomas, ajustando os parâmetros de operação do motor em tempo real para maximizar a eficiência e a durabilidade.

Em resumo, a combinação da análise humana e da inteligência artificial representa um avanço significativo na área de manutenção preditiva de motores, contribuindo para a melhoria da segurança, confiabilidade e eficiência dos veículos (CAMPOS, 2018).

### **Observações:**

- **Motor Elétrico:** Embora o texto original se concentre em motores a combustão, a aplicação da IA na análise de dados e na predição de falhas também é relevante para motores elétricos, adaptando-se às suas especificidades.
- **Segurança:** A IA pode contribuir para a segurança dos motores elétricos, identificando precocemente problemas como superaquecimento das baterias, falhas nos inversores e desgaste prematuro de componentes.
- **Sustentabilidade:** A otimização da manutenção através da IA pode contribuir para a redução do consumo de energia e de materiais, alinhando-se com os princípios da sustentabilidade.

Este dois laudos revisados, podem oferecer uma visão mais completa e abrangente do tema, integrando o comparativo entre análise humana e IA e as perspectivas futuras para a área.

## **5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa foi promissora quanto a proposta do comparativo entre IA. e versus I.H. Além disso identificou que a lubrificação inadequada em motores 1.0, causada pelo

uso de óleo incorreto e falta de manutenção preventiva, provoca desgaste prematuro e até quebra do motor. Reforça-se a importância de seguir as recomendações do fabricante. A inteligência artificial pode ajudar na prevenção de falhas ao analisar dados, monitorar em tempo real e desenvolver novos lubrificantes. Futuras pesquisas podem focar no desenvolvimento de novos aditivos e sensores para monitoramento. O estudo destaca a necessidade de conscientização sobre lubrificação e o potencial das novas tecnologias na manutenção automotiva.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13032: Execução de retífica de motores**. Rio de Janeiro. 1996.
- AKPOMON, Daniel Olanrewaju et al. **Estudo sobre a Avaliação Comparativa das Viscosidades do Óleo do Motor em Ijebuland**, Estado de Ogun, Nigéria. 2022.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**, v. 1. Editora Blucher, 2018.
- CAMPOS, Felipe dos Anjos Rodrigues et al. **Manutenção preditiva de lubrificantes em motores de combustão interna para aplicações leves**. 2018.
- DE ABREU, Raul Amorim. **Lubrificantes e Lubrificação**. Raul Amorim de Abreu, 2023.
- JAIN, N.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R.; YADAV, O. P. **Maintenance planning based on reliability assessment of multi-state multi-component system**. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering And Engineering Management (IEEM), 2018, Bangkok, Thailand. New York: IEEE, 2018. p. 262-267. DOI: 10.1109/IEEM.2018.8607526.
- MENDONÇA, Márcio et al. **Evolução da inteligência artificial: da IA fraca à IA forte na era dos chatbots, com instâncias na educação**. In: CIÉNCIA E TECNOLOGIA: Catalisadores da inovação. Cornélio Procópio: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2024. Cap. 3, p. 26-39.
- SILVA, Dávila Moreira Lopes. **Processo de brunimento em camisas de cilindro de motores de Combustão interna: uma análise da influência da velocidade de Avanço no acabamento superficial**. 2017.
- SILVA, Gustavo; SILVA, Sávio. **A Importância da Lubrificação em Motores de Combustão Interna**. 2024.
- LI, Y.; ZHANG, G.; YI, X.; HE, J. **Fault diagnosis of armored vehicle engine based on oil sensor**. In: International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, And Control (Sdpc), 2020, Beijing, China. Beijing: IEEE, 2020. p. 204-208. DOI: 10.1109/SDPC49476.2020.9353190.

## CAPÍTULO 4

# EVOLUÇÃO E IMPACTO DA INTELIGÊNCIA CIENTE DO CONTEXTO: UM ESTUDO SOBRE O USO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY PARA A PERSONALIZAÇÃO DA APRENDIZAGEM

*Data de submissão: 18/10/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

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

Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Guilherme Cyrino Geromel**

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

Piracicaba  
Piracicaba - SP

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

### **Fabio Rodrigo Milanez**

UniSENAI PR Campus Londrina  
Londrina-PR

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

### **Francisco de Assis Scannavino Junior**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná Departamento Acadêmico de  
Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio - PR

<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

### **Angelo Feracin Neto**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR

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

### **Marcos Antônio de Matos Laia**

Universidade Federal de São João Del Rei  
Departamento De Ciência Da Computação  
– UFSJ

Minas Gerais - MG  
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

### **Emerson Ravazzi Pires da Silva**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

### **Marcos Banheti Rabello Vallim**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR

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

**Vitor Blanc Milani**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

**Luiz Francisco Sanches Buzzacchero**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de  
Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

**Vicente de Lima Gongora**

UniSENAI PR Campus Londrina  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

**Wagner Fontes Godoy**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de  
Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

**Marta Rúbia Pereira dos Santos**

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Etec Jacinto Ferreira de Sá – Ourinhos  
Ourinhos - SP  
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

**Andressa Haiduk**

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

**Iago Maran Machado**

Egresso Engenharia Mecânica pela  
Universidade Tecnológica Federal  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

**Eduardo Filgueiras Damasceno**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/7333630388674575>

**Rafael Carneiro Sacoman**  
UniSENAI PR Campus Londrina  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/2139273105010310>

**Adriano Prado de Souza**  
Copel Distribuição Ltda  
Londrina-PR  
<https://orcid.org/0009-0000-5256-1246>

**Eduardo Viana de Almeida**  
UniSENAI PR Campus Londrina  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/5974742627952379>

**RESUMO:** Esse trabalho propõe o uso de um, mapas cognitivos *fuzzy* para compilar dados e informações da sala de aula para um sistema auxiliar de tomadas de decisões para o ritmo de ou velocidade dos conceitos de uma disciplina. Isso de forma resumida é possível devido ao uso de sistemas de *Machine Learning* e ou sistemas híbridos do contexto em sala de aula, os quais podem revolucionar o ensino ao adaptar-se às necessidades dos alunos e professores em tempo real. Este artigo propõe uma arquitetura de sistema que utiliza de variáveis e ou conceitos derivados de leitura de sensores e dispositivos IoT para coletar dados contextuais e aplicar algoritmos de aprendizado de máquina de forma paralela. Os parâmetros observados incluem o engajamento dos alunos, compreensão do conteúdo, variáveis ambientais, comportamento do professor e interações sociais. Além disso, discutimos os modelos de machine learning mais adequados para essa aplicação, como redes neurais convolucionais (CNN), algoritmos de classificação e regressão, e técnicas de *clustering*. Também abordamos o ciclo de aprendizado contínuo, desafios e considerações éticas. Após a compilação dessas variáveis uma proposta de tomadas de decisões em tempo real será apresentada para gerenciamento em tempo real do gerenciamento supracitado. E, finalmente uma conclusão e implantação das técnicas citadas serão integradas ao FCM para tomadas de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mapas Cognitivos *Fuzzy*, *Machine Learning*, Personalização da Aprendizagem.

## EVOLUTION AND IMPACT OF CONTEXT-AWARE INTELLIGENCE: A STUDY ON THE USE OF FUZZY COGNITIVE MAPS FOR THE PERSONALIZATION OF LEARNING

**ABSTRACT:** This work proposes the use of a fuzzy, cognitive maps to compile data and information from the classroom to an auxiliary decision-making system for the pace of or speed of the concepts of a discipline. This is possible due to the use of Machine Learning systems and/or hybrid systems in the classroom context, which can revolutionize teaching by adapting to the needs of students and teachers in real time. This paper proposes a system architecture

that uses variables and/or concepts derived from reading sensors and IoT devices to collect contextual data and apply machine learning algorithms in parallel. The parameters observed include student engagement, comprehension of the content, environmental variables, teacher behaviour and social interactions. In addition, we discuss the most suitable machine learning models for this application, such as convolutional neural networks (CNN), convolutional neural networks, and convolutional neural networks. And, finally, a conclusion and implementation of the techniques mentioned will be integrated into the FCM for decision-making.

**KEYWORDS:** Fuzzy Cognitive Maps, Machine Learning, Learning Personalization.

## INTRODUÇÃO

A Inteligência Ciente do Contexto tem emergido como uma abordagem fundamental para o desenvolvimento de sistemas capazes de processar e interpretar informações contextuais fornecidas pelo usuário. Esses sistemas utilizam dados capturados em tempo real, relacionados diretamente à situação pessoal e ambiental do indivíduo—conhecido como “papel situado”—para adaptar suas respostas e ações. A aplicação de sistemas cientes de contexto traz benefícios significativos tanto para indivíduos quanto para instituições acadêmicas e industriais, com usos variados em múltiplos domínios.

No entanto, a implementação eficaz de sistemas contextuais levanta questões sobre a satisfação de restrições e a conformidade com preferências individuais. Moore, Jackson e Hu (2010) abordam esse desafio ao apresentar um algoritmo que incorpora ponderações às propriedades de contexto em uma abordagem quantitativa, permitindo a mitigação de violações de restrições e preferências expressas. Essa solução é demonstrada por meio de uma prova de conceito, indicando caminhos para pesquisas futuras.

Paralelamente, o estudo de Shafaei et al. (2018) destaca o aumento considerável de dados produzidos pelos componentes inteligentes em veículos modernos. O paradigma ciente do contexto desempenha um papel crucial no gerenciamento desses dados, oferecendo vantagens para aplicações inteligentes existentes e emergentes dentro dos carros. A previsão de contexto promete soluções confiáveis que melhoram o conforto dos ocupantes e a dinâmica do veículo, além de ser um passo importante para a condução altamente automatizada e autônoma. No entanto, a complexidade dos dados e a falta de estudos abrangentes no setor automotivo tornam desafiadora a definição de uma arquitetura funcional para a previsão de contexto.

No campo da educação, desafios crescentes relacionados ao engajamento dos alunos e à personalização do ensino evidenciam a necessidade de abordagens inovadoras. Soluções tradicionais frequentemente falham em se adaptar às necessidades individuais em tempo real, comprometendo a eficácia do aprendizado. Nesse cenário, a motivação e um dos objetivos está na aplicação de Mapas Cognitivos Fuzzy em sistemas de quantificação do nível de interação dos alunos em sala de aula empregando conceitos de uma ferramenta relativamente recente na área de Inteligência Artificial como uma alternativa promissora. Ao

capturar e interpretar dados contextuais em tempo real, esses sistemas podem personalizar o ambiente de aprendizagem de acordo com as necessidades específicas de cada aluno.

Este artigo explora a evolução e o impacto da Inteligência Ciente do Contexto, com foco no uso de Mapas Cognitivos Fuzzy para a personalização da aprendizagem. O objetivo principal, além da instanciação de mais uma aplicação do FCM, está em apresentar os princípios fundamentais dessa abordagem, analisamos desafios e benefícios, e apresentamos estudos de caso hipotéticos que demonstram sua aplicabilidade, entretanto sem considerar aspectos tecnológicos para implementação das variáveis circunscritas para desenvolvimento. Por meio dessa investigação, buscamos contribuir para o avanço de soluções educacionais mais adaptativas e eficazes.

Este artigo está dividido da seguinte forma: a seção 2 fundamenta os conceitos das técnicas de I.A. para desenvolvimento dessa pesquisa. A seção 3 discorre sobre o desenvolvimento desse artigo. Já a seção 4 emprega o FCM em situações diferentes para verificar as diferentes inferências. E, finalmente a seção 5 encerra e conclui o trabalho endereçando futuras pesquisas.

## **FUNDAMENTOS: FCM E IMPACT OF CONTEXT-AWARE INTELLIGENCE.**

Os Mapas Cognitivos Fuzzy (FCMs) são uma extensão dos mapas cognitivos tradicionais introduzidos por Robert Axelrod em 1976. Axelrod, em seus trabalhos pioneiros sobre mapas mentais, propôs uma forma de representar e analisar as crenças e percepções que indivíduos ou grupos têm sobre determinados sistemas ou situações complexas.

Os mapas cognitivos de Axelrod são grafos direcionados onde os nós representam conceitos ou variáveis importantes em um sistema, e as arestas representam relações causais ou influências entre esses conceitos. Essas relações são qualitativas, indicando se a influência é positiva ou negativa, mas não quantificam a intensidade dessa influência. O objetivo era capturar e visualizar o pensamento de tomadores de decisão, permitindo uma análise estruturada de políticas e estratégias.

Evolução para Mapas Cognitivos Fuzzy. Embora os mapas cognitivos de Axelrod fossem úteis, eles tinham limitações ao lidar com a complexidade e a incerteza inerentes a muitos sistemas reais. Para superar essas limitações, Bart Kosko introduziu, em 1986, os Mapas Cognitivos Fuzzy. A principal inovação foi a incorporação da lógica Fuzzy, permitindo que as relações entre os conceitos fossem expressas em termos quantitativos e graduais, não apenas qualitativos.

### **Fundamentos dos Mapas Cognitivos Fuzzy**

Os FCMs são estruturas que combinam elementos de redes neurais artificiais e lógica Fuzzy para modelar sistemas complexos. Seus principais componentes e características são:

- **Nós (Conceitos):** Representam estados, variáveis ou características do sistema em estudo. Cada nó possui um valor que reflete seu nível de atividade ou estado em um dado momento.
- **Arestas Ponderadas:** As conexões entre os nós são associadas a pesos que expressam o grau e o tipo de influência de um conceito sobre outro. Esses pesos podem variar em um intervalo contínuo, geralmente entre -1 e 1, onde valores positivos indicam influência estimuladora e valores negativos, influência inibitória.
- **Lógica Fuzzy:** Permite lidar com a incerteza e a imprecisão presentes nos sistemas reais. Em vez de utilizar lógica binária, a lógica fuzzy reconhece que os valores podem pertencer a conjuntos com graus de pertinência variáveis (Zadeh, 1965).
- **Dinâmica do Sistema:** Os FCMs podem ser atualizados iterativamente, permitindo a simulação da evolução do sistema ao longo do tempo. A atualização dos valores dos nós é realizada através de funções de ativação que agregam as influências, por meio de relações de causa e efeito recebidas. Após a evolução dinâmica do FCM, ele normalmente converge para um ciclo-limite D'onofrio et al (2024), em outras palavras um valor muito próximo ao valor final a cada passo, como será mostrado nos resultados.

## Aplicações e Importância dos FCMs

Os Mapas Cognitivos Fuzzy têm sido amplamente utilizados em diversas áreas devido à sua capacidade de modelar sistemas complexos e dinâmicos:

- **Tomada de Decisão:** Auxiliam na análise de cenários e na avaliação de políticas ou estratégias em ambientes incertos (PAPAGEORGIOU, E.; STYLIOS, C.; GROUMPOS, P. A, 2006)
- **Engenharia e Controle:** Utilizados no design de sistemas de controle que exigem a consideração de múltiplas variáveis interconectadas (MENDONÇA et al., 2013)
- **Ciências Sociais e Comportamentais:** Modelam interações sociais, comportamentos coletivos e fenômenos psicológicos.
- **Medicina e Biologia:** Aplicados na modelagem de processos biológicos complexos e na interpretação de dados clínicos.

De modo resumido: os Mapas Cognitivos Fuzzy representam uma evolução significativa dos mapas cognitivos iniciais de Axelrod, oferecendo uma ferramenta mais robusta para modelar e analisar sistemas complexos com interações não lineares e incertezas. Ao integrar conceitos de lógica Fuzzy, os FCMs permitem uma representação mais precisa das influências entre conceitos, facilitando a compreensão e a previsão do comportamento sistêmico em diversas disciplinas.

## INTELIGÊNCIA CIENTE DO CONTEXTO

A Inteligência Ciente do Contexto é um campo emergente da Inteligência Artificial que se concentra em sistemas capazes de compreender e reagir inteligentemente ao contexto em que ações ou decisões ocorrem. Diferentemente dos sistemas tradicionais que se baseiam apenas em dados brutos, essa abordagem incorpora informações adicionais — como localização, horário, preferências do usuário, condições ambientais e estado emocional — para fornecer respostas e ações mais personalizadas e relevantes.

Os principais componentes do sistema proposto incluem:

**Sensores e Dispositivos IoT:** A coleta de dados é realizada por meio de dispositivos da Internet das Coisas (IoT), que capturam informações sobre o ambiente, os alunos e o professor. Entre esses dispositivos estão câmeras para monitoramento visual e atenção dos alunos; microfones para captar áudio, como o tom de voz do professor e níveis de ruído; dispositivos vestíveis (smartwatches) para registrar dados biométricos dos alunos, como frequência cardíaca e nível de atividade; e sensores de movimento, termômetros e sensores de qualidade do ar para medir variáveis ambientais que podem afetar o conforto e a concentração.

**Plataforma de Processamento de Dados:** Os dados coletados são enviados para uma plataforma que os organiza, filtra e processa em tempo real ou próximo disso. O uso de sistemas de processamento de eventos permite estruturar os dados contextuais de forma útil para os algoritmos de machine learning.

**Módulos de Machine Learning:** Essenciais para a análise e adaptação dos dados em tempo real, os modelos de machine learning podem ser treinados para funções como classificação (detectar estados de atenção ou distração dos alunos), detecção de anomalias (identificar quedas bruscas no engajamento ou comportamentos inesperados) e previsão (antecipar o nível de entendimento dos alunos com base em comportamentos anteriores).

**Feedback e Interface com o Professor:** O sistema oferece feedback imediato e personalizado ao professor, utilizando interfaces simples e intuitivas, como painéis com gráficos de engajamento dos alunos ou alertas que sugerem ajustes no ritmo da aula.

Parâmetros observados pelo sistema incluem:

- **Engajamento dos Alunos:** Monitorado através de câmeras que rastreiam o comportamento visual, identificando quantos alunos estão atentos ou distraídos. Movimentações indicativas de inquietação e participação ativa, como levantar a mão ou interagir com dispositivos, também são usadas como métricas de engajamento.
- **Nível de Compreensão:** Avaliado pelo tempo que os alunos levam para responder perguntas ou concluir atividades, cruzando esses dados com a precisão das respostas. A análise de microexpressões faciais ajuda a detectar emoções

como confusão ou frustração, indicando o nível de entendimento.

- Parâmetros Ambientais: Fatores como qualidade do ar, temperatura e nível de ruído são monitorados para garantir um ambiente propício ao aprendizado. Sugestões podem ser feitas para ajustar essas variáveis e aumentar o conforto e a concentração.
- Comportamento do Professor: O tom de voz e o ritmo de apresentação do conteúdo pelo professor são monitorados. Se necessário, o sistema sugere ajustes para garantir clareza e manter o engajamento dos alunos.
- Interações Sociais: As interações em grupo entre os alunos são acompanhadas para ajustar dinâmicas de colaboração, identificando se certos alunos estão sendo marginalizados ou não participam adequadamente.

Os modelos de machine learning propostos incluem:

- Redes Neurais Convolucionais (CNN): Utilizadas para reconhecimento de imagens e vídeos, auxiliando no rastreamento do comportamento visual dos alunos e na detecção de estados de atenção ou distração.
- Modelos de Classificação: Algoritmos como Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) ou Árvores de Decisão categorizam estados emocionais com base em expressões faciais ou sons captados em tempo real.
- Modelos de Regressão: Preveem o desempenho dos alunos com base em dados históricos e em tempo real, sugerindo ajustes no ritmo da aula e no conteúdo.
- Algoritmos de Clusterização: Técnicas como o K-means identificam grupos de alunos com diferentes níveis de compreensão, permitindo estratégias de ensino personalizadas.

O ciclo de aprendizado contínuo é mantido através da coleta de feedback de alunos e professores após cada aula, ajustando os modelos de machine learning e melhorando a precisão das previsões. Relatórios automáticos sobre o desempenho dos alunos são gerados, com sugestões de melhorias para as próximas aulas.

A implementação do sistema envolve linguagens de programação como Python e R, e frameworks de machine learning como TensorFlow, PyTorch e Scikit-learn. Para a coleta de dados, plataformas IoT são integradas com dispositivos de sensoriamento para monitorar o ambiente da sala de aula.

**Desafios e considerações éticas** incluem:

- Privacidade: Garantir a privacidade de alunos e professores é fundamental, tanto em relação aos dados coletados quanto ao seu uso.
- Consentimento: O consentimento informado de todos os envolvidos deve ser obtido, assegurando que estão cientes da coleta de dados e de seus propósitos.
- Viés em Modelos de Machine Learning: Os modelos devem ser treinados para

evitar vieses que possam prejudicar certos grupos de alunos ou favorecer outros, garantindo justiça e equidade no ensino.

## DESENVOLVIMENTO

Essa seção discorre sobre o desenvolvimento do FCM e das variáveis circunscritas de maior relevância para se obter uma noção, ainda que inicial do Nível de interação dos alunos.

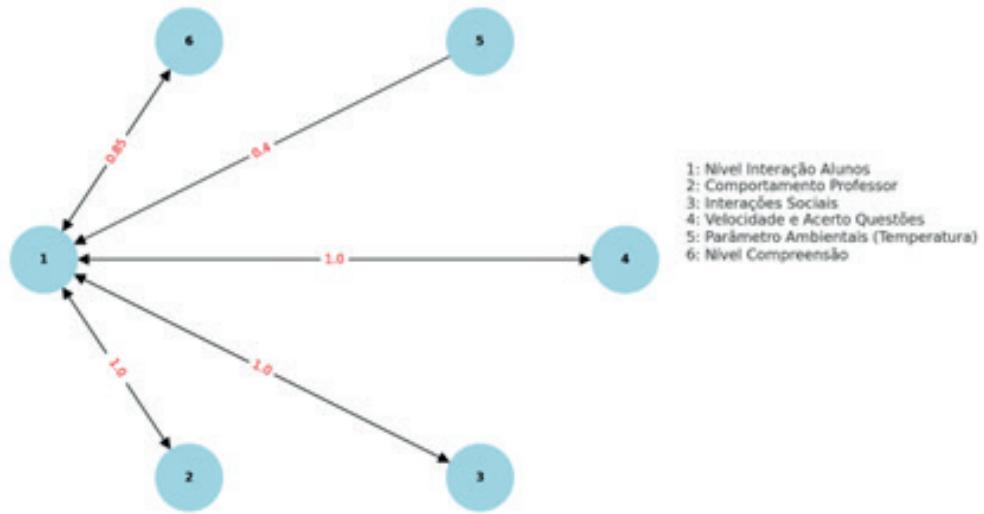


Figura 1– FCM do Nível de Interação

O diagrama apresentado na figura é um Mapa Cognitivo Fuzzy, que representa uma rede de interações entre diferentes conceitos ou fatores. Cada nó no mapa numerado corresponde a um conceito específico relacionado ao comportamento de alunos, professores e o ambiente de ensino, enquanto as setas e os valores numéricos representam a influência e a intensidade dessas interações.

O Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM) ilustra uma rede de seis conceitos principais que interagem entre si, com influências modeladas através de pesos fuzzy variando de -1 a 1. Esses pesos indicam o impacto positivo ou negativo de um conceito sobre outro no contexto educacional descrito.

O Nível de Interação dos Alunos é o centro da rede, representando o grau em que os alunos interagem entre si. Ele influencia diretamente outros fatores, como o comportamento do professor, as interações sociais e o desempenho nas questões.

O Comportamento do Professor é influenciado negativamente pelo nível de interação dos alunos, com um peso de -1.0. Isso sugere que, quando a interação entre

os alunos aumenta, o comportamento do professor pode ser afetado de forma negativa, possivelmente devido a uma perda de controle ou desorganização da aula.

As Interações Sociais também são influenciadas negativamente pela interação dos alunos, com um peso de -1.0. Isso pode indicar que um aumento na interação dos alunos, possivelmente em contextos de distração, prejudica as interações sociais organizadas e produtivas.

A Velocidade e Acerto nas Questões representa o desempenho dos alunos em termos de rapidez e precisão na resolução de questões. A interação dos alunos afeta positivamente este conceito com um peso de 1.0, sugerindo que, quando os alunos interagem mais, há um aumento no desempenho nas atividades acadêmicas.

Os Parâmetros Ambientais (Temperatura) referem-se a fatores como a temperatura que afetam o ambiente de aprendizado. Esse fator tem uma influência moderada no nível de interação dos alunos, com peso de 0.4, indicando que ambientes mais confortáveis podem encorajar maior interação entre os estudantes.

O Nível de Compreensão reflete o quanto os alunos entendem o conteúdo e é positivamente influenciado pela interação entre eles, com um peso de 0.85. Isso sugere que, quanto mais os alunos interagem entre si, maior é a sua compreensão do material abordado.

As setas no FCM mostram a direção da influência de um conceito para outro, e os valores associados indicam a intensidade dessa influência. Valores positivos indicam uma influência benéfica, enquanto valores negativos sugerem uma influência prejudicial.

Esse modelo pode ser utilizado como uma ferramenta para simulação e análise de como mudanças em certos fatores podem impactar o comportamento geral do sistema educacional, auxiliando na tomada de decisões sobre intervenções no ambiente de sala de aula e estratégias pedagógicas. Por exemplo, modificar os parâmetros ambientais pode ser uma intervenção viável para melhorar a interação dos alunos e o nível de compreensão, conforme sugerido pelas relações identificadas no FCM.

De um modo geral: O Mapa Cognitivo Fuzzy demonstra a complexidade do ambiente educacional, onde diversos fatores estão interconectados e influenciam os resultados de aprendizado. Com base nas relações e pesos observados, intervenções focadas em aumentar a interação dos alunos de maneira controlada podem melhorar a compreensão e o desempenho acadêmico, desde que o comportamento do professor e o equilíbrio nas interações sociais sejam mantidos.

O Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM) ilustra uma rede de seis conceitos principais que interagem entre si, com influências modeladas através de pesos fuzzy variando de -1 a 1. Esses pesos indicam o impacto positivo ou negativo de um conceito sobre outro no contexto educacional descrito.

O Nível de Interação dos Alunos é o centro da rede, representando o grau em que os alunos interagem entre si. Ele influencia diretamente outros fatores, como o comportamento

do professor, as interações sociais e o desempenho nas questões.

O Comportamento do Professor é influenciado negativamente pelo nível de interação dos alunos, com um peso de -1.0. Isso sugere que, quando a interação entre os alunos aumenta, o comportamento do professor pode ser afetado de forma negativa, possivelmente devido a uma perda de controle ou desorganização da aula.

As Interações Sociais também são influenciadas negativamente pela interação dos alunos, com um peso de -1.0. Isso pode indicar que um aumento na interação dos alunos, possivelmente em contextos de distração, prejudica as interações sociais organizadas e produtivas.

A Velocidade e Acerto nas Questões representa o desempenho dos alunos em termos de rapidez e precisão na resolução de questões. A interação dos alunos afeta positivamente este conceito com um peso de 1.0, sugerindo que, quando os alunos interagem mais, há um aumento no desempenho nas atividades acadêmicas.

Os Parâmetros Ambientais (Temperatura) referem-se a fatores como a temperatura que afetam o ambiente de aprendizado. Esse fator tem uma influência moderada no nível de interação dos alunos, com peso de 0.4, indicando que ambientes mais confortáveis podem encorajar maior interação entre os estudantes.

O Nível de Compreensão reflete o quanto os alunos entendem o conteúdo e é positivamente influenciado pela interação entre eles, com um peso de 0.85. Isso sugere que, quanto mais os alunos interagem entre si, maior é a sua compreensão do material abordado.

As setas no FCM mostram a direção da influência de um conceito para outro, e os valores associados indicam a intensidade dessa influência. Valores positivos indicam uma influência benéfica, enquanto valores negativos sugerem uma influência prejudicial. Esse modelo pode ser utilizado como uma ferramenta para simulação e análise de como mudanças em certos fatores podem impactar o comportamento geral do sistema educacional, auxiliando na tomada de decisões sobre intervenções no ambiente de sala de aula e estratégias pedagógicas. Por exemplo, modificar os parâmetros ambientais pode ser uma intervenção viável para melhorar a interação dos alunos e o nível de compreensão, conforme sugerido pelas relações identificadas no FCM.

Ressalta-se que: o mapa cognitivo fuzzy demonstra a complexidade do ambiente educacional, onde diversos fatores estão interconectados e influenciam os resultados de aprendizado. Com base nas relações e pesos observados, intervenções focadas em aumentar a interação dos alunos de maneira controlada podem melhorar a compreensão e o desempenho acadêmico, desde que o comportamento do professor e o equilíbrio nas interações sociais sejam mantidos.

## RESULTADOS

Em conformidade com o modelo cognitivo desenvolvido a figura 2 mostra os resultados

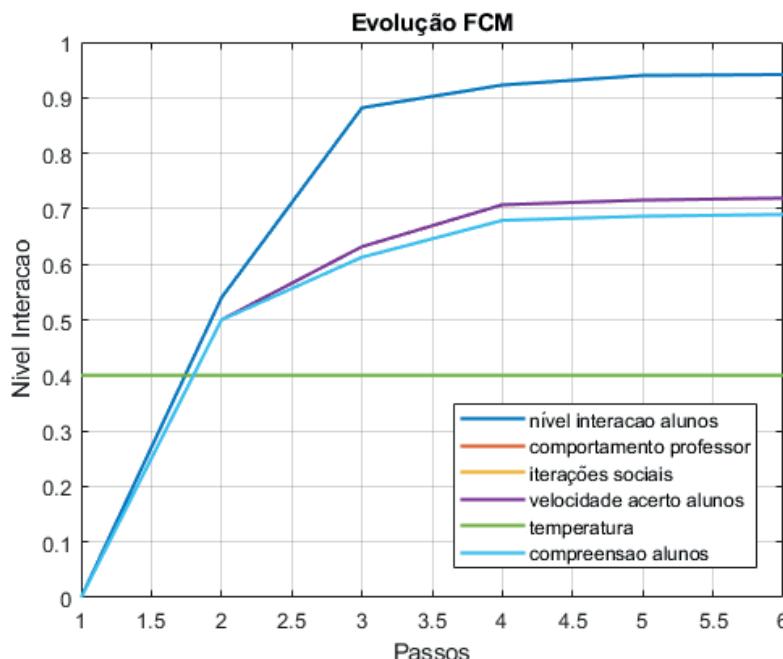


Figura 1– Nível de Interação dos alunos

A figura mostra a evolução de diversas variáveis ao longo de 6 passos, com destaque para o nível de interação dos alunos, que é representado pela linha azul. Aqui está uma análise detalhada focando no nível de interação dos alunos:

### Nível de interação dos alunos:

- A curva azul, representando o **nível de interação dos alunos**, começa muito baixa no primeiro passo, próxima de 0, valor inicial atribuído ao conceito. A partir do segundo passo, ocorre um crescimento acentuado até aproximadamente 0.9, o que sugere um aumento rápido da interação entre os alunos.

No terceiro passo, o crescimento começa a desacelerar, e a partir do quarto passo, o nível de interação se estabiliza, variando muito pouco até o passo 6, com o valor permanecendo em torno de 0.9.

### Comparação com outras variáveis:

- **Comportamento do professor** (linha laranja) é constante durante todo o período, o que indica que essa variável não muda significativamente ao longo do tempo, mantendo-se próxima de 0.5.

- **Interações sociais** (linha roxa) e **velocidade de acerto dos alunos** (linha magenta) têm uma trajetória de crescimento suave e constante. Elas alcançam um patamar ao redor de 0.6 a partir do passo 4, mas permanecem abaixo do nível de interação dos alunos.
- **Temperatura** (linha verde) não apresenta variação, mantendo-se estática ao redor de 0.4, sugerindo que essa variável não exerce influência relevante (se mantendo em um valor fixo) no contexto da interação dos alunos.
- **Compreensão dos alunos** (linha amarela) também permanece constante, não influenciando diretamente o nível de interação ou outros fatores no modelo.

O **nível de interação dos alunos** apresenta um aumento significativo nos primeiros passos, atingindo rapidamente um nível elevado (0.9), onde se estabiliza. Esse comportamento sugere que, com a dinâmica apresentada no gráfico, a interação dos alunos responde rapidamente a algum estímulo inicial e depois se estabiliza em um patamar alto, indicando uma interação forte e constante entre os alunos após o impulso inicial.

Este comportamento pode ser interpretado como uma forte resposta dos alunos a intervenções ou mudanças no ambiente que promovem interação, mas que, depois de um certo ponto, o nível de interação atinge um equilíbrio. A análise sugere a importância de um bom estímulo inicial para alcançar níveis elevados de interação entre os alunos.

## **CONCLUSÃO:**

A Inteligência Ciente do Contexto possui um potencial promissor em diversos setores, como saúde, transporte, automação e, especialmente, educação. Promete sistemas mais personalizados e eficientes, oferecendo abordagens inovadoras para a personalização do ensino. Esta pesquisa destaca como o uso de dados em tempo real pode impactar positivamente o ambiente educacional, melhorando a interação entre alunos e conteúdo, e promovendo um aprendizado mais eficaz.

Sugere-se que trabalhos futuros investiguem a integração de tecnologias contextualmente cientes, inseridas apenas no modelo cognitivo, para auxiliar na velocidade de transmissão do conteúdo, ajustando-se ao nível de interação e compreensão dos alunos. Estudos podem explorar o desenvolvimento de sistemas adaptativos que modifiquem dinamicamente o ritmo e a metodologia de ensino com base nas respostas dos estudantes. Além disso, é relevante avaliar o impacto dessas tecnologias em diferentes ambientes educacionais e faixas etárias, bem como sua eficácia em promover engajamento e melhorar os resultados de aprendizagem. A exploração de análises preditivas para antecipar dificuldades dos alunos e implementar intervenções proativas também representa um caminho promissor para futuras pesquisas.

## REFERÊNCIAS

D'ONOFRIO, S.; MÜLLER, S. M.; PAPAGEORGIOU, E. I.; PORTMANN, E. Fuzzy reasoning in cognitive cities: an exploratory work on fuzzy analogical reasoning using fuzzy cognitive maps. In: **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS**, 2018, Rio de Janeiro. *Proceedings*. Piscataway: IEEE, 2018. p. 1-8 DOI:10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491474.

MENDONÇA, Márcio; ANGELICO, Bruno; ARRUDA, L. V. R.; NEVES, Flavio. A dynamic fuzzy cognitive map applied to chemical process supervision. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 26, n. 4, p. 1199-1210, 2013. DOI: 10.1016/j.engappai.2012.11.007.

MOORE, P.; JACKSON, M.; HU, B. Constraint Satisfaction in Intelligent Context-Aware Systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX, INTELLIGENT AND SOFTWARE INTENSIVE SYSTEMS**, 2010, Cracóvia, Polônia. Anais [*International Conference on Complex*]. Cracóvia: IEEE, 2010. p. 75-80. DOI: 10.1109/CISIS.2010.25.

PAPAGEORGIOU, E.; STYLIOS, C.; GROUMPOS, P. A combined fuzzy cognitive map and decision trees model for medical decision making. In: **ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY**, 28., 2006, New York, NY, USA. *Proceedings...* Piscataway, NJ: IEEE, 2006. p. 6117-6120. DOI: 10.1109/EMBS.2006.260354.

SHAFAEI, S.; MÜLLER, F.; SALZMANN, T.; FARZANEH, M. H.; KUGELE, S.; KNOLL, A. Context Prediction Architectures in Next Generation of Intelligent Cars. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC)**, 21., 2018, Maui, HI, USA. IEEE, 2018. p. 2923-2930. DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569617.

# CAPÍTULO 5

## PROJETO DE UM ARRANJO LOG-PERIÓDICO DE ANTENAS DE MICROFITA PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO A CURVA FRACTAL DE MINKOWSKI NÍVEL 1

---

Data de submissão: 24/08/2024

Data de aceite: 01/11/2024

**Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira**

Universidade Estadual da Paraíba  
João Pessoa - PB

**Pedro Carlos de Assis Júnior**

Universidade Estadual da Paraíba  
Patos – PB

**Tales Augusto Carvalho de Barros**

Universidade Federal da Paraíba  
Campina Grande – PB

**RESUMO:** As antenas de microfita proporcionam ao pesquisador um leque grande de possibilidades de projeto de antenas e/ou arranjos de antenas planares e superfícies seletivas em frequência, com capacidade de operar em altas frequências, mantendo sua estabilidade e precisão, favorecendo sua construção em grande escala e para as mais diversas aplicabilidades na faixa que frequência das micro-ondas. A proposta desse artigo consiste no projeto de um arranjo de antenas de microfita log-periódico utilizando a curva fractal de Minkowski em sua 1º interação (nível 1), projetada para a frequência de operação de sistemas Wi-Fi em 2,44 GHz (faixa pertencente

a banda ISM - *industrial, scientific and medical*). Todo o estudo teórico foi realizado por intermédio do simulador comercial *Ansys Designer™*. No arranjo projetado, foi investigado o percentual de redução nas dimensões do protótipo proposto quando comparada com um arranjo com elementos patch retangular funcionando na mesma frequência de operação. O arranjo proposto foi excitado pela técnica de linha de microfita (segundo o modelo da linha de transmissão - TLM) obedecendo a escala logarítmica e teve seus parâmetros de espalhamento (parâmetros S) analisados em um analisador de rede vetorial por meio de medições experimentais. A linha de alimentação possui uma impedância de  $50 \Omega$  e os parâmetros do arranjo medidos foram: a perda de retorno (RL), diagrama de radiação, impedância de entrada, coeficiente de onda estacionária (VSWR) e sua largura de banda (BW).

**PALAVRAS-CHAVE:** Arranjo de antenas, Micro-ondas, Comunicação sem fio.

**ABSTRACT:** Microstrip antennas provide researchers with a wide range of possibilities for designing antennas and/or planar antenna arrays and frequency-selective surfaces, with the capacity to operate at

high frequencies while maintaining stability and precision, favoring their construction on a large scale and for the most diverse applications in the microwave frequency range. The proposal of this article consists of the design of a log-periodic microstrip antenna array using the Minkowski fractal curve in its 1st interaction (level 1), designed for the operating frequency of Wi-Fi systems at 2.44 GHz (band belonging to the ISM band - industrial, scientific and medical). The entire theoretical study was carried out using the commercial simulator Ansys Designer™. In the designed array, the percentage of reduction in the dimensions of the proposed prototype was investigated when compared to an array with rectangular patch elements operating at the same operating frequency. The proposed array was excited by the microstrip line technique (according to the transmission line model - TLM) obeying the logarithmic scale and had its scattering parameters (S parameters) analyzed in a vector network analyzer through experimental measurements. The feed line has an impedance of  $50 \Omega$  and the array parameters measured were: return loss (RL), radiation pattern, input impedance, standing wave coefficient (VSWR) and its bandwidth (BW).

**KEYWORDS:** Antenna Array, Microwave, Wireless Communication.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de antenas de microfita em sistemas de telecomunicações vem ganhando muito destaque em virtude das inúmeras aplicações possíveis dessa tecnologia, dentre as quais podemos citar: as redes de telecomunicações 4,5G e 5G, esta última amplamente implementada em território nacional no atual ano de 2024, bem como aplicações relacionadas a internet das coisas IoT (*internet of things*). Para que esses recursos possam funcionar de maneira adequada e de forma eficiente é interessante que os dispositivos transmissores e receptores de ondas eletromagnéticas sejam compactos, leves, que possam se adequar a vários tipos de superfícies e principalmente, que apresente um custo relativamente baixo sem perdas de desempenho.

Essas características vêm motivando e impulsionando as pesquisas envolvendo tecnologia planar e aplicações em altas frequências. Aliado a isso, as simulações computacionais e os mais diversos recursos de Tecnologia da Informação popularizou o uso de softwares comerciais (projetos de CAD – Desenho assistido por computador) poderosos que implementam em sua maioria métodos numéricos de onda completa na análise precisa de diversos dispositivos, auxiliando assim o pesquisador a desenvolver cada vez mais soluções tecnológicas que atendam as demandas científicas, voltando suas análises à aplicações nos mais diversos setores comerciais. (BALANIS, 1997).

Neste contexto, a busca por dispositivos cada vez menores e sem perda de desempenho vem impulsionando as pesquisas na área de telecomunicações e do eletromagnetismo aplicado com novos e melhores projetos de circuitos/dispositivos de micro-ondas aptos a operar em altas frequências.

O arranjo de antenas projetado (denominado de AM1) é capaz de funcionar em altas frequências, mais precisamente na faixa de frequência das micro-ondas em 2,44 GHz. A

análise numérica desses dispositivos foi toda ela realizada utilizando o simulador de onda completa (Ansoft Designer) anteriormente mencionado, que implementa o método dos momentos (MoM) na análise precisa do parâmetro de espalhamento (S11) associado ao arranjo proposto. A faixa de frequência de 2,44 GHz foi escolhida em virtude de pertencer a banda ISM (do inglês *industrial, scientific and medical*), o qual é não licenciada e livre para teste das mais diversas aplicações envolvendo a tecnologia de microfita e demais estruturas planares.

## 2 | GERAÇÃO DA CURVA FRACTAL DE MINKOWSKI NÍVEL 1

A geometria fractal é um campo fascinante das matemáticas que explora formas e estruturas irregulares, complexas e fragmentadas. Ao contrário das formas geométricas tradicionais, como círculos, triângulos ou quadrados, os fractais têm uma característica especial chamada auto semelhança, ou seja, suas partes replicam o padrão da estrutura inteira em várias escalas. Pesquisada inicialmente pelo matemático francês Benoit Mandelbrot na década de 70, baseado em observações de figuras exóticas encontradas na natureza, onde Mandelbrot explicou que era possível obter novas figuras a partir de outras figuras complexas por meio da auto similaridade (MANDELBROT, 1983).

Principais Características da Geometria Fractal:

Auto-semelhança: Como mencionado, uma das características mais marcantes dos fractais é que suas partes são semelhantes ao todo, independentemente da escala em que são observadas. Isso significa que, se você ampliar uma pequena porção de um fractal, verá a mesma estrutura que observaria em uma visão mais ampla.

Dimensão Fractal: Em geometria clássica, a dimensão de uma linha é 1, de uma superfície é 2, e de um volume é 3. No entanto, fractais podem ter dimensões fracionárias, refletindo sua complexidade. Por exemplo, o conjunto de Cantor, uma linha fractal, pode ter uma dimensão entre 0 e 1, dependendo do método de construção.

Complexidade Infinita: A complexidade de um fractal aumenta à medida que você o examina em escalas cada vez menores. Em outras palavras, não importa o quanto você amplie, sempre haverá mais detalhes. Isso leva a uma beleza intrincada e uma complexidade infinita.

Pesquisadores como Puente, et al. (1998) e COHEN (1997) foram pioneiros no emprego dessa geometria em projetos de antenas de microfita, fazendo uso de suas propriedades atrativas a esse tipo de tecnologia planar.

A curva fractal de Minkowski foi a utilizada no projeto do arranjo log-periódico de antenas de microfita utilizando o fractal de Minkowski nível 1 proposto neste trabalho, onde a mesma pode ser obtida de forma recursiva por meio de 8 (oito) transformações afins  $q_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ , entre rotação e translação, determinado pela equação (1) (OLIVEIRA, 2008), (MANDELBROT, 1991). As quatro transformações fazem a contração de  $1/3$ ;  $q_2$  faz uma

rotação de  $-\pi/2$  rad e uma translação de uma unidade para a direita; q3 faz uma rotação de  $\pi/2$  rad, uma translação de  $3/2$  unidades para a direita; q4 executa uma translação de 2 unidades para a direita (OLIVEIRA, 2008), dada pela equação (1).

$$qi(x, y) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} \cos(\theta i) & -\sin(\theta i) \\ \sin(\theta i) & \cos(\theta i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ei \\ fi \end{pmatrix} \quad (1)$$

### 3 I METODOLOGIA EMPREGADA E ESTRUTURA DO ARRANJO DE ANTENAS COM O FRACTAL DE MINKOWSKI PROPOSTO

A geometria fractal de Minkowski de nível 1 foi utilizada para projetar um arranjo log-periódico de antenas patch de microfita para a faixa de frequência das micro-ondas em 2,44 GHz (OLIVEIRA, 2008). O arranjo projetado foi denominado de arranjo AM1, consistindo de três elementos patches ressonantes quando excitados por um gerador de micro-ondas em sua porta de entrada por meio de um conector SMA de  $50 \Omega$ . Para que o projeto do arranjo AM1 fosse possível, inicialmente a curva fractal de Minkowski (ver Figura 1) foi adicionada as margens radiante e não radiante de um arranjo log-periódico nível 0 (AKR0) já projetado e conforme descrito em Costa et al. (2014) e mostrado na Figura 2.

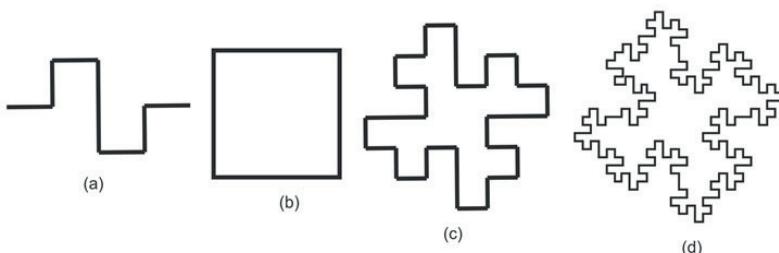


Figura 1 – Geração da curva fractal de Minkowski. (a) curva geradora; (b) elemento inicial (nível 0); (c) Fractal de Minkowski nível 1 e (d) Fractal de Minkowski nível 2.

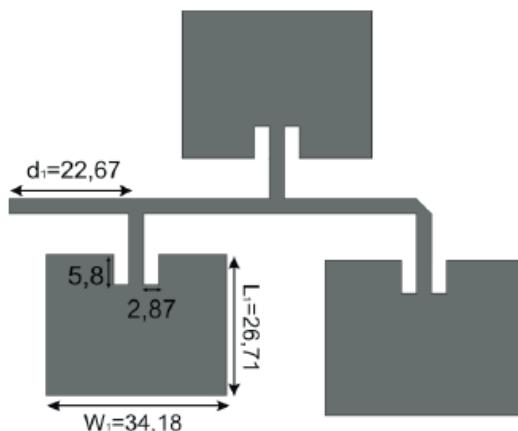


Figura 2 – Arranjo log-periódico nível 0 (AKR0).

Fonte: Costa et al., 2014

Onde o comprimento do elemento patch é dado por  $W_n$ , a largura dos elementos patches é dado por  $L_n$  e o espaçamento entre eles é dado por  $d_n$ . As demais medidas crescem em uma escala logarítmica por um fator constante de 1,05. Toda a estrutura foi construída em um material de baixo custo, neste caso utilizou-se a fibra de vidro (FR4), com uma espessura ( $h$ ) de 1,5 mm e uma constante dielétrica ( $\epsilon_r$ ) de 4,4. As dimensões iniciais do projeto do arranjo AM1 foram obtidas por meio das equações do modelo da linha de transmissão (TLM) descrito em Balanis (1997), conforme equações (2) – (4).

$$F_r = \frac{c}{2(L + \Delta L)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0,412 \frac{\epsilon_{eff} + 0,3}{\epsilon_{eff} + 0,3} x \frac{W/h + 0,264}{W/h + 0,8} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r + 1}{2} x \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (4)$$

Onde,  $F_r$  é a frequência de ressonância,  $\Delta L$  é o comprimento Frings e o  $\epsilon_{eff}$  é a permissividade elétrica efetiva. As dimensões obtidas por meio desse conjunto de equações serviram de ponto de partida para o projeto de um arranjo log-periódico nível 0 e posteriormente após a aplicação da curva Minkowski nível 1. Dessa forma foi possível obter o arranjo log-periódico proposto, conforme mostrado na Figura 3.

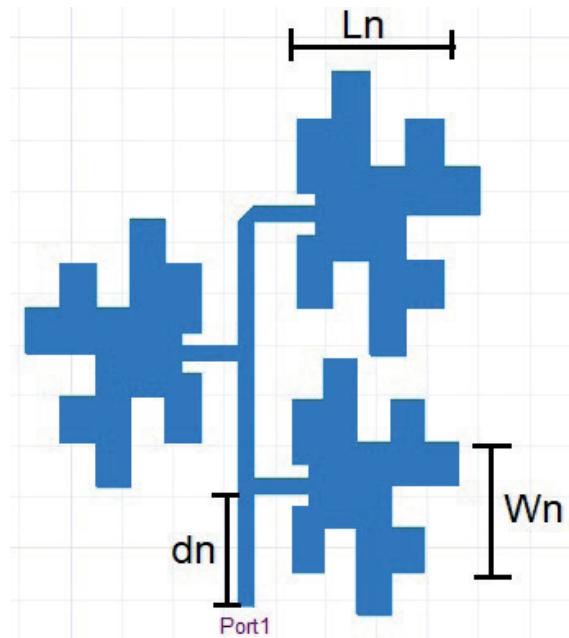


Figura 3 – Estrutura do Arranjo log-periódico fractal de Minkowski nível 1 (AM1).

Esta propriedade do fator de escala R, indicará que o arranjo projetado apresentará as mesmas características de radiação em todas as frequências de ressonâncias que tem como base o fator R. Para a proposta do arranjo log-periódico fractal de Minkowski nível 1, o fator R foi considerado constante e igual 1,05, sendo um arranjo formado por três elementos adjacentes, em um arranjo de antenas log-periódica. Os demais elementos foram dimensionados apresentando por base as dimensões do elemento anterior. Conforme mostra a equação (5).

$$R = \frac{Ln+1}{Ln} + \frac{Wn+1}{Wn} + \frac{dn+1}{dn} \quad (5)$$

Um protótipo de arranjo de antenas fractal nível 1 foi construído (ver Figura 4) e teve seus parâmetros eletromagnéticos medidos em um analisador de rede vetorial (modelo ZVB14 Rohde & Schwarz).

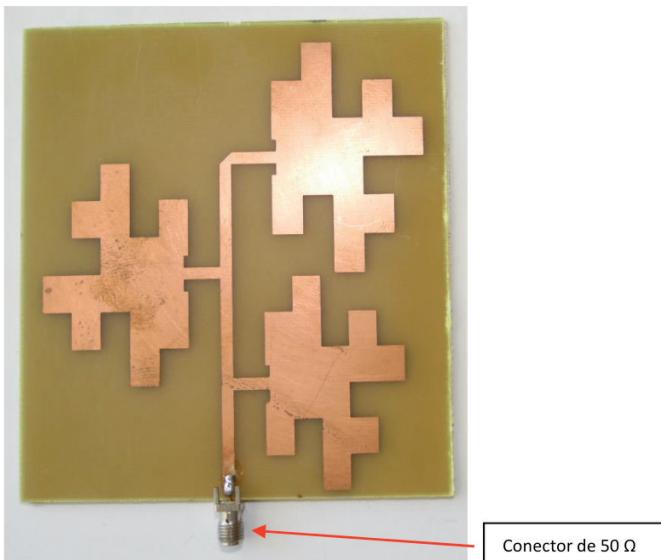


Figura 4 – Estrutura do Arranjo log-periódico fractal de Minkowski nível 1 (AM1) construído.

Um fato observado no projeto do arranjo AM1 é que devido ao uso da curva de Minkowski nível 1 (Figura 1c) acabou por aumentar o comprimento elétrico do arranjo proposto, o que consequentemente segundo a relação física onde  $c = \lambda / F$ , fez com que a frequência do dispositivo ressoasse em um nível inferior ao desejado que é a frequência em 2,44 GHz, devido a isso se faz necessário um ajuste nas dimensões do arranjo AM1 de modo a trazer a frequência fundamental para a faixa de 2,44 GHz, resultando assim em uma nova estrutura capaz de funcionar na frequência de projeto desejada de 2,44 GHz. Isso é possível de se conseguir ao aplicarmos um fator de compressão (CF) as dimensões do arranjo AM por meio do cálculo desse fator mostrado na equação (6) proposto por

$$CF = 100\% - ( (Fr(GHz)/2,44 (GHz)) \times 100\% ) \quad (6)$$

O uso do fator de compressão resultou em novas dimensões para o arranjo de antenas AM1 proposto, acarretando dessa forma em um novo dispositivo com dimensões inferiores, o qual denominamos de arranjo log-periódico miniaturizado (AM1 miniaturizado), onde o mesmo foi re-projetado para ressoar na frequência de projeto desejada em 2,44 GHz. Esse arranjo miniaturizado apresentou uma redução em suas dimensões de aproximadamente 45% quando comparada as dimensões do arranjo AM1 inicialmente projetado. As dimensões em milímetros do arranjo AM1 miniaturizado são mostrados na Tabela 1.

Elemento n	Dimensão dn	Dimensão Wn	Dimensão Ln
1	12,5 mm	18,8 mm	14,69 mm
2	13,1 mm	19,73 mm	15,42 mm
3	13,75 mm	20,73 mm	16,19 mm

Tabela 1 - Dimensões do arranjo AM1 log-periódico miniaturizado.

A etapa final do procedimento metodológico empregado no projeto e construção do arranjo log-periódicos de antenas fractais consiste na etapa de medição de seus parâmetros eletromagnéticos (Parâmetros S) que foi realizado no analisador de rede vetorial na faixa de frequência entre 1 – 3 GHz. A faixa de frequência de 2,44 GHz foi a faixa utilizada pois se torna interessante por ser não licenciada e livre para teste em dispositivos de micro-ondas.

As dimensões iniciais obtidas foram:  $dn = 22,67$  mm;  $Wn = 37,7$  mm e  $Ln = 29,9$  mm corresponde as dimensões do arranjo AKR0 proposto em Costa, 2014, o qual serviu de ponto de partida para o projeto de arranjo log-periódico fractal de Minkowski nível 1. O comprimento de  $dn$  que corresponde a linha de excitação foi considerado meio comprimento de onda guiado ( $\lambda_g / 2$ ) na frequência de projeto desejada.

#### 4 | RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS PARA A ANTENA PROPOSTA

O parâmetro de espalhamento  $S_{11}$  é um resultado que mostra o poder de acoplamento da energia transmitida na linha de microfita que passa integralmente ao elemento irradiador, denominado patch irradiante. Dessa forma ele é calculado por meio do seu coeficiente de reflexão, dado pela equação (7) (BALANIS, 1997), Garg et al., 2001.

$$RL = -20\log |S_{11}| \quad (7)$$

O primeiro resultado do projeto consiste na medida da relação entre as potências incidentes e refletidas no conector do arranjo de antenas. O resultado da Figura 5 mostra uma comparação entre os resultados numérico e medido obtidos para o arranjo AM1 proposto.

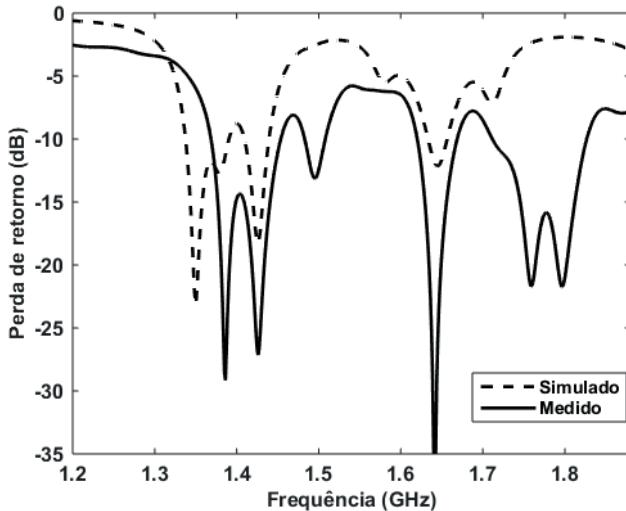


Figura 5 – Resultado de perda de retorno para o arranjo AM1 proposto.

Desse resultado é possível observar um comportamento multi banda, com três regiões de ressonâncias para o arranjo AM1. Uma boa concordância entre os resultados simulado e medido foram alcançados, onde o resultado medido apresentou três ressonâncias em 1,38 GHz, 1,64 GHz e 1,75 GHz, respectivamente.

As faixas de frequência das ressonâncias apresentaram as seguintes larguras de bandas:  $BW1 = 80$  MHz;  $BW2 = 50$  MHz e  $BW3 = 100$  MHz. Os resultados simulados e medido apresentaram uma boa concordância entre si, com baixas perdas de retorno (valor abaixo de -10 dB), o que caracteriza um bom casamento de impedância para a estrutura analisada.

Por sua vez, a Figura 6 mostra o resultado de perda de retorno para o arranjo AM1 miniaturizado após a aplicação do fator de compressão (ver equação 5) com uma redução de 45% nas dimensões do arranjo AM1.

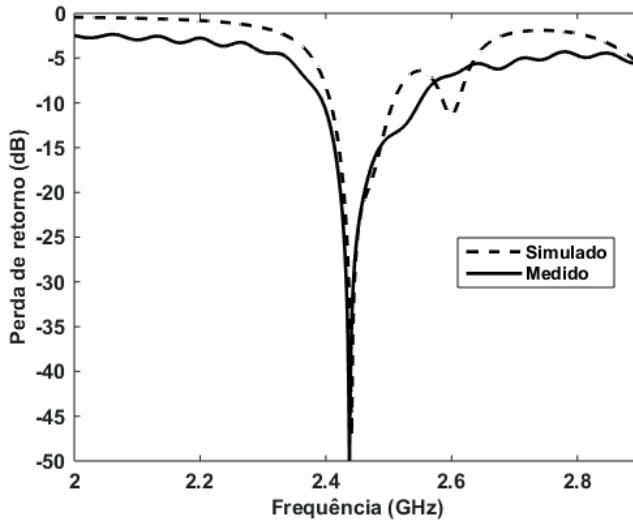


Figura 6 – Resultado de perda de retorno para o arranjo AM1 miniaturizado proposto.

Desse resultado é possível observar uma excelente concordância entre os resultados simulado e medido. A baixa perda de retorno obtida caracteriza um bom casamento de impedância para essa estrutura, onde a mesma apresentou uma frequência de ressonância em 2,44 GHz e uma largura de banda em -10 dB de 100 MHz, ou seja, essa estrutura se mostrou propícia a aplicações em dispositivos móveis para a faixa de 2,44 GHz atingindo o mínimo de largura de banda requerida para aplicações que é de uma largura de banda de 83,5 MHz (ANATEL, 2024).

O diagrama de radiação 2D e 3D para o arranjo AM1 miniaturizado são mostrados da Figura 7, onde é possível observar um diagrama sem deformações e com características diretivas. No diagrama 2D, podemos observar larguras de feixes de meia potência não simétricas (49,04 graus e 46,01 graus), isso aconteceu devido aos dois elementos patches ressonantes da estrutura. Por sua vez, o diagrama de irradiação 3D nos mostra que o arranjo AM1 miniaturizado apresentou um ganho de 5,71 dB na região de máxima radiação (região de campo distante).

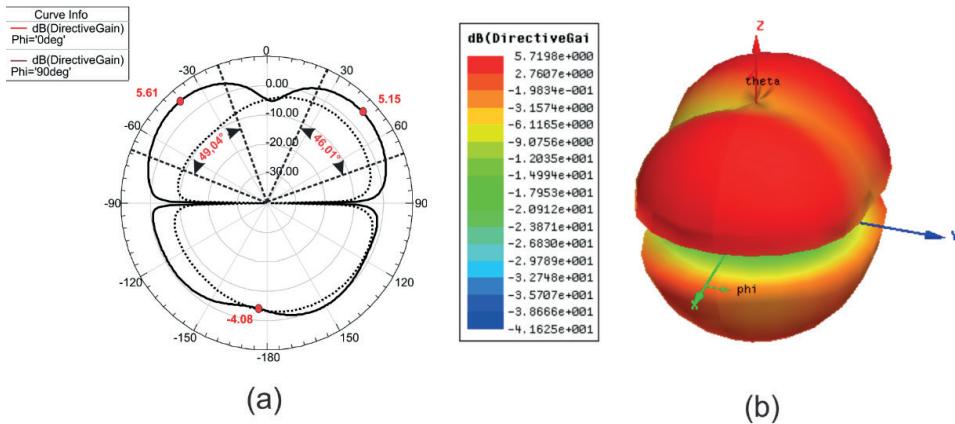


Figura 7 – Diagrama de radiação 2D e 3D para o arranjo AM1 miniaturizado proposto.

A Figura 8 mostra a distribuição de corrente nos patches irradiante da antena AM1 proposta. Devido à natureza não simétrica dos elementos patches baseadas no fractal de Minkowski, foi possível observar um comportamento diferente da energia nos elementos, onde no primeiro elemento patch a radiação se concentrou mais na metade superior do elemento, o que por sua vez, no segundo elemento a concentração da energia se deu na parte inferior do patch.

Outro parâmetro importante na análise de antenas e arranjo de antena de microfita é o coeficiente de onda estacionária (VSWR). Ele consiste na medida da energia que volta a fonte geradora por meio de ondas estacionárias na linha de alimentação, o que muitas vezes acontece entre um descasamento de impedância entre a linha de alimentação e o elemento patch (BALANIS, 1997).

O VSWR é dado pela razão entre os coeficientes de reflexão das ondas incidentes e refletidas no terminal da fonte gerada do sinal de micro-ondas. A Figura 9 mostra o resultado medido do coeficiente de onda estacionária (VSWR) para o arranjo AM1 miniaturizado.

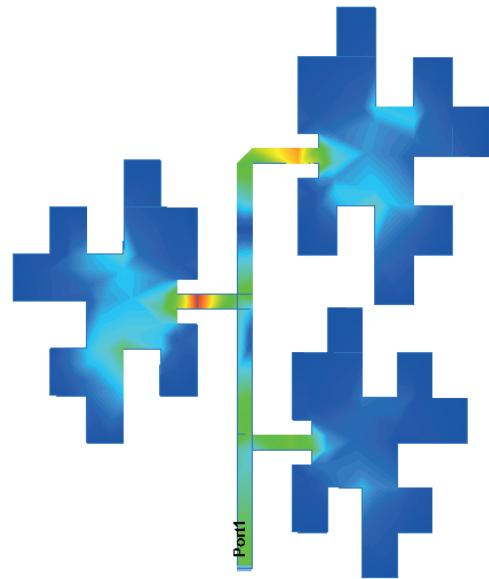


Figura 8 – Distribuição da densidade de corrente de superfície para o arranjo AM1 miniaturizado proposto.

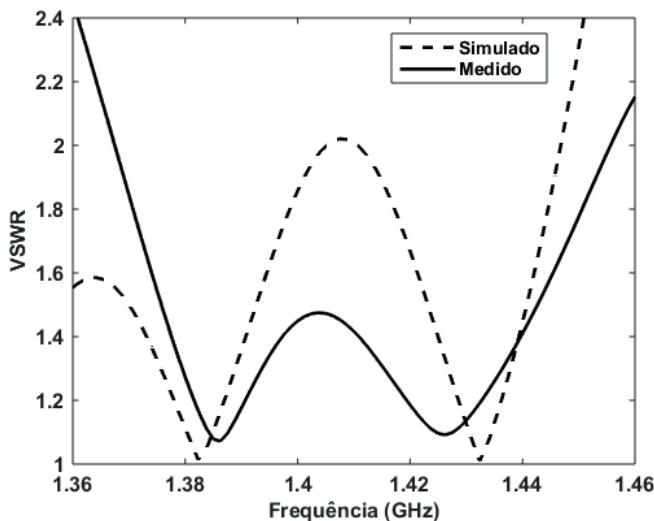


Figura 9 – Resultado da curva de VSWR para o arranjo AM1 miniaturizado.

Desse resultado podemos observar um valor de VSWR igual a 1,02 para o resultado simulado e um valor de 1,08 para o resultado medido. Ambos os valores se encontram abaixo da condição limite para um bom funcionamento da antena, o qual corresponde a um valor de VSWR igual a 2,0 mostrado uma boa concordância entre si. Todos os resultados obtidos para o arranjo de antenas AM1 log-periódico miniaturizado se encontram resumidos na Tabela 2.

Resultados	Arranjo AM1 mini	
	Simulado	Medido
Frequência de ressonância ( $F_r$ )	2,44 GHz	2,44 GHz
Perda de retorno (RL)	-47,0 dB	-50,0 dB
Largura de banda (BW)	100 MHz	140 MHz
Largura de banda percentual (BW%)	4,1%	6,15%
VSWR	1,02	1,08
Ganho	5,71 dB	—

Tabela 2 – Resultados simulados e medidos para o arranjo de antenas AM1 log-periódico miniaturizado proposto.

## 5 | CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposta a modelagem e construção de um arranjo de antenas patches de microfita para a faixa de frequência das micro-ondas, mais precisamente para a banda ISM em 2,44 GHz. Para isso foi feito uso da geometria fractal de Minkowski nível 1 no projeto dos elementos irradiantes do arranjo proposto. O arranjo de antenas de microfita foi projetado baseado na escala logarítmica para o espaçamento entre seus elementos irradiantes pelo fator de 1,05 (Costa, 2014). A estrutura como um todo foi excitada pela técnica de linha de microfita e seu elementos patches foram desenhados utilizando a curva de nível 1 do fractal de Minkowski.

O arranjo AM1 miniaturizado teve suas dimensões reduzidas em 45% após o cálculo realizado pelo fator de compressão dado pela equação (5), quando comparado a um arranjo de antenas patches retangulares convencionais, o que é considerado uma ótima redução de dimensão para aplicações em dispositivos móveis. Os resultados mostraram uma ótima concordância entre simulação e medição, validando assim o projeto de arranjo proposto. O arranjo miniaturizado funcionou perfeitamente na frequência de projeto desejada que foi de 2,44 GHz e apresentou uma largura de banda de 140 MHz, muito superior ao mínimo desejado para aplicações em sistema de comunicação sem fio, que é de 83,5 MHz.

## REFERÊNCIAS

- BALANIS, C. A. **Antenna theory-analysis and design**, 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 1997.
- Ansoft Designer (part of ANSYS Inc.) [Online]. Available: [www.ansoft.com](http://www.ansoft.com).
- MANDELBROT, Benoit. **The Fractal Geometry of Nature**, New York: W. H. Freeman, 1983.
- PUENTE, C.; ROMEU, J.; POUS, R; CARDAMA, A. **On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 46, pp. 517-524, 1998.
- COHEN, N. **Fractal antenna applications in wireless telecommunications**, Proceedings of Electronics Industries Forum of New England, pp. 43-49, 1997.

OLIVEIRA, E. E. C. **Antenas de Microfita com Patch Quase-Fractal para Aplicações em Redes WPAN/WLAN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GARG, R.; BHARTIA, P.; BAHL, I.; ITTIPIBOON, A. **Microstrip Antenna Design Handbook**, Boston, USA: Artech House, Inc., 2001.

COSTA, J. A. S.; VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, E. E. C; ASSUNÇÃO, A. G. **Projeto e Análise de um Arranjo Log-periódico de Antenas Quase-fractais para a Banda 2,44 GHz (IEEE 802.11 b/g)**. 16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo (MOMAG 2014), 2014.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/espectro>. Acesso em: 23 de Ago. 2024.

MORETTI, Isabella. “Regras da ABNT para TCC: conheça as principais normas”. 2017. Disponível em: <<https://viacarreira.com/regras-da-abnt-para-tcc-conheca-principais-normas>>. Acesso em: 23 de Ago. 2024.

# CAPÍTULO 6

## SATELLITE ACS DESIGN USING SDRE METHOD FOR ORBIT INJECTION PHASE

---

*Data de submissão: 27/08/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

**Luiz Carlos Gadelha de Souza**

Federal University of ABC  
São Bernardo do Campo - SP  
Brasil

**ABSTRACT:** - Depending on the objectives of the space mission, after the satellite's separation phase from the launcher, the satellite's angular velocities may need to be increased or decreased. Besides, the precision of controlling the satellite's attitude during this phase is of fundamental importance for the success of the mission. When the satellite starts this phase with high angular velocity the Attitude Control System (ACS) needs to manoeuvre the satellite to its normal mode of operation characterized by an attitude of small angles. One way to achieve this transition between these two modes of operation is through the use of gas jets followed by reaction wheels. In this paper one investigates by simulation the ACS system in order to minimize space mission costs by reducing the number of errors transmitted to the next phase of the satellite prototypes project. Due the satellite high angular velocities its dynamics have nonlinear equations of motion. As a result, application of linear control technique cannot

be able to design the ACS with performance and robustness to reach the required level of appointment. In order to mitigate this problem, one applies the State-Dependent Riccati Equation (SDRE) method which can deal with nonlinear system. The SDRE controller design algorithm is based on gas jets and reaction wheel torques to perform large angle manoeuvre in order to reduce the high angular velocities to attitude with small angles. The energy of the system is used as the criterion for the transition between these two modes. An important result of this investigation is the numerical validation of the simulator model based on the control algorithm designed by the SDRE method. It is planned to test this control algorithm in the National Institute for Space research (INPE) prototype which supplies the conditions for implementing and testing the SDRE ACS in terms of hardware and software.

**KEYWORDS:** - Satellite attitude control system, nonlinear dynamics

### 1 | INTRODUCTION

The design of a satellite Attitude Control System (ACS), that involves plant uncertainties [1] and large angle manoeuvres followed by stringent pointing

control, may require new nonlinear attitude control techniques in order to have adequate stability, good performance and robustness. Experimental ACS design using nonlinear control techniques through prototypes is one way to increase confidence in the control algorithm. Experimental design has the important advantage of representing the satellite dynamics in laboratory setting, from which it is possible to accomplish different simulations to evaluate the satellite ACS [2]. However, the drawback of experimental testing is the difficulty of reproducing zero gravity and torque free space conditions. A Multi-objective approach [3] has been used to design a satellite controller with real codification. An investigation through experimental procedure has been done in [4] for simulator inertia parameters identification. An algorithm based on the least squares method to identify mass parameters of a rotating space vehicle during attitude manoeuvres has been done in [5]. A method with the same objectives, but based on Kaman filter theory also has been investigated in [6]. The H-infinity control technique was used in [7] to design robust control laws for a satellite composed of rigid and flexible panels. The SDRE method was applied to control the satellite attitude with nonlinear dynamics using the State Dependent Coefficients (SDC) procedure in [8]. In this paper the SDRE technique [9, 10] is applied to design a nonlinear controller for a nonlinear simulator plant. The ACS designed is able to deal with large angle manoeuvres. The control strategy is based on reaction wheel and gas jets as actuators which allow the design of two control algorithms related to the transition from high angular velocity mode to the normal mode of operation with stringent pointing. The optimal switching control algorithm is based on minimum system energy. Several simulations have proven the computationally feasibility. It is planned for real time execution of the SDRE control algorithm to use the INPE prototype taking in consideration the satellite's on board computer [11].

## 2 | THE SDRE DESIGN METHOD

The Linear Quadratic Regulation (LQR) approach is well known and its theory has been extended for the synthesis of nonlinear control laws for nonlinear systems. This is the case for satellite dynamics that are inherently nonlinear [12]. A number of methodologies exist for the control design and synthesis of these highly nonlinear systems; these techniques include a large number of linear design methodologies [13] such as Jacobian linearization and feedback linearization used in conjunction with gain scheduling [14]. Nonlinear design techniques have also been proposed including dynamic inversion and sliding mode control [15] and recursive back stepping and adaptive control [16]. The Nonlinear Regulator problem [17] for a system represented in the State-Dependent Riccati Equation form with infinite horizon, can be formulated by minimizing the cost functional given by

$$J(x_0, u) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} (x^T Q(x)x + u^T R(x)u) dt \quad (1)$$

With the state  $x \in \mathbb{R}^n$  and control  $u \in \mathbb{R}^m$  subject to the nonlinear system constraints

given by

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x) + B(x)u \\ y &= C(x)x \\ x(0) &= x_0\end{aligned}\tag{2}$$

Where  $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$  and  $C$  are the system input and the output matrices, and  $y \in \mathbb{R}^s$  ( $\mathbb{R}^s$  is the dimension of the output vector of the system). The vector initial conditions is  $x(0)$ ,  $Q(x) \in \mathbb{R}^{n \times n}$  and  $R(x) \in \mathbb{R}^{m \times m}$  are the weight matrix semi defined positive and defined positive. Applying a direct parameterization to transform the nonlinear system into State Dependent Coefficients (SDC) representation, the dynamic equations of the system with control can be write in the form

$$\dot{x} = A(x)x + B(x)u\tag{3}$$

With  $f(x) = A(x)x$ , where  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  is the state matrix. By and large  $A(x)$  is not unique. In fact there are an infinite number of parameterizations for SDC representation. This is true provided there are at least two parameterizations for all  $0 \leq \alpha \leq 1$  satisfying

$$\begin{aligned}\alpha A_1(x)x + (1 - \alpha)A_2(x)x \\ &= \alpha f(x) + (1 - \alpha)f(x) \\ &= f(x)\end{aligned}\tag{4}$$

The choice of parameterizations to be made must be appropriate in accordance with the control system of interest. An important factor for this choice is not violating the controllability of the system, i.e., the matrix controllability state dependent  $[B(x) + A(x)B(x) \dots A^{n-1}(x)B(x)]$  must be full rank. The nonlinear control law fed back by the states has the following form

$$u = -S(x)x, \quad S(x) = R^{-1}(x)B^T(x)P(x)\tag{5}$$

For some special cases, such as systems with little dependence on the state or with few state variables, Eq. (5) can be solved analytically. On the other hand, for more complex systems the numerical solution can be obtained using an adequate sampling rate. It is assumed that the parameterization of the coefficients dependent on the state is chosen so that the pair  $(A(x), B(x))$  and  $(C(x), A(x))$  are in the linear sense for all  $x$  belonging to the neighbourhood about the origin, point to point, stabilizable and detectable, respectively. Then the SDRE nonlinear regulator produces a closed loop solution that is locally asymptotically stable. An important factor of the SDRE method is that it does not cancel the benefits that result from the nonlinearities of the dynamic system, because, it is not a required inversion and not a dynamic feedback linearization of the nonlinear system.

### 3 | THE SATELLITE ATTITUDE SIMULATOR

Figure 1 shows the INPE 3D simulator which has a disk-shaped platform, supported on a plane with a spherical air bearing. Considering that the INPE 3D simulator is not complete build, one assumes that there are three reaction wheel and the gas jets configuration set capable to perform maneuver around the three axes and that there are three angular velocities sensor, like gyros. Apart from the difficulty of reproducing zero gravity and torque free condition, modeling the 3D simulator, basically, follows the same step of modeling a rigid satellite with rotation in three axes free in space.



Fig. 1- INPE 3D simulator with gas jets and three reaction wheels.

The orientation of the platform is given by the body reference system  $F_b$  with respect to inertial reference system  $F_i$  considering the principal axes of inertia and using the Euler angles ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ) in the sequence 3-2-1, to guarantee that there is no singularity in the simulator attitude rotation. The equations of motions are obtained using Euler's angular moment theorem given by

$$\dot{\vec{h}} = \vec{g} \quad (6)$$

Where  $\vec{g}$  and  $\vec{h}$  are the torque and the angular moment of the system, which is given by

$$\vec{h} = I\vec{\omega} + I_w(\vec{\Omega} + \vec{\omega}) \quad (7)$$

Where  $I = \text{diag}(I_{11}, I_{22}, I_{33})$  is the system matrix inertia moment,  $\vec{\omega}$  is the angular velocity of the platform,  $\vec{I}_w = \text{diag}(I_{w1}, I_{w2}, I_{w3})$  is the reaction wheel matrix inertia moment and  $\vec{\Omega} = (\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3)$  are the reaction wheel angular velocity. Differentiating Eq. (7) and considering that the angular velocity of  $F_b$  is  $\vec{\omega}$  and that the external torque is equal to zero, one has

$$\dot{\vec{h}} + \vec{\omega}^x \vec{h} = 0 \quad (8)$$

Substituting Eq.(7) into Eq.(8), the angular velocity of the system is

$$\dot{\vec{\omega}} = (I + I_w)^{-1} \left[ -\vec{\omega}^x (I + I_w) \vec{\omega} - \vec{\omega}^x I_w \vec{\Omega} - I_w \dot{\vec{\Omega}} \right] \quad (9)$$

The simulator attitude as function of the angular velocity is

$$\begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \sin \theta_3 / \cos \theta_2 & \cos \theta_3 / \cos \theta_2 \\ 0 & \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 \\ 1 & \sin \theta_3 \sin \theta_2 / \cos \theta_2 & \cos \theta_3 \sin \theta_2 / \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

In order to design the attitude control system based on reaction wheel and gas jets actuators to perform a large angle maneuver, it is important to have in mind that each control algorithm is designed based on in two different a set of equations of motions. In other words, the gas jets are applied to reduce the high angular velocity and the reaction wheel is used to control in the fine pointing accuracy mode. As a result, for each operation mode one has different matrices  $A(x)$  and the respective matrix  $B$  associated with it. The  $C$  matrix, although depend on the sensor type is assumed unity for simplicity.

In the fine pointing mode where the reaction wheel is the actuator, the state's  $x$  are  $(\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3)$  and the control  $u$  are  $(\dot{\Omega}_1 \ \dot{\Omega}_2 \ \dot{\Omega}_3)$ , the matrices  $A(x)$  and  $B$  are given by

$$(x) = \begin{pmatrix} & \frac{\sin \theta_3}{\cos \theta_2} & \frac{\cos \theta_3}{\cos \theta_2} \\ 0 & \frac{\cos \theta_3}{\cos \theta_2} & \frac{\cos \theta_3}{\cos \theta_2} \\ 000 & 0 & -\sin \theta_3 \\ 000 & 1 & \frac{\sin \theta_3 \sin \theta_2}{\cos \theta_2} \\ 000 & 0 & \frac{\cos \theta_3 \sin \theta_2}{\cos \theta_2} \\ 000 & \frac{-I_{11}\omega_3 + I_w\Omega_3}{(I_{22} + I_w)} & \frac{I_{22}\omega_3 - I_w\Omega_3}{(I_{22} + I_w)} \\ 000 & \frac{(I_{22} + I_w)}{(I_{11} + I_w)} & \frac{(I_{11} + I_w)}{(I_{22} + I_w)} \\ 000 & \frac{I_{11}\omega_2 - I_w\Omega_2}{(I_{33} + I_w)} & \frac{0}{(I_{33} + I_w)} \\ 000 & \frac{-I_{22}\omega_1 + I_w\Omega_1}{(I_{33} + I_w)} & \frac{I_{33}\omega_1 - I_w\Omega_1}{(I_{22} + I_w)} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{-I_w}{(I_{11} + I_w)} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-I_w}{(I_{22} + I_w)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-I_w}{(I_{33} + I_w)} \end{pmatrix} \quad (12)$$

One knows that the reaction wheel generates internal torques and the attitude control is performed by exchange of angular moment between the reaction wheel and the satellite. On the other hand, gas jets generates external torque  $M$  given by

$$M_{Pi} = -T_i \cdot d_i \quad (13)$$

Where  $M_{Pi}$  is the torque generated around the "i" axis due to the force  $T_i$  applied at distance  $d_i$  from the rotation axis.

In the angular reduction mode using gas jets the reaction wheel is locked, therefore,

its acceleration and angular velocity are zero and the satellite angular velocity is given by

$$\dot{\omega} = (I + I_w)^{-1}[-\omega^x(I + I_w)\omega - T_i \cdot d_i] \quad (14)$$

The states  $x$  are  $(\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3)^T$  and the control  $u$  are  $(T_1 \ T_2 \ T_3)^T$ , therefore, the matrices  $A(x)$  and  $B$  are given by

$$(x) = \begin{pmatrix} & \frac{\sin\theta_3}{\cos\theta_2} & \frac{\cos\theta_3}{\cos\theta_2} \\ 0 & \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_3} & -\frac{\sin\theta_3}{\cos\theta_2} \\ 000 & 0 & \frac{\sin\theta_3\sin\theta_2\cos\theta_3\sin\theta_2}{\cos\theta_2} \\ 000 & 1 & \frac{\sin\theta_3\sin\theta_2\cos\theta_3\sin\theta_2}{\cos\theta_2} \\ 000 & 0 & \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_2} \\ 000 & -\frac{I_{11}\omega_3}{I_{22} + I_w} & \frac{I_{22}\omega_3}{I_{22} + I_w} \\ 000 & \frac{I_{22} + I_w}{I_{11} + I_w} & \frac{I_{11} + I_w}{I_{11} + I_w} \\ 000 & \frac{I_{11}\omega_2}{I_{33} + I_w} & \frac{0}{I_{33} + I_w} \\ 000 & \frac{-I_{22}\omega_1}{I_{33} + I_w} & \frac{I_{33}\omega_1}{I_{22} + I_w} \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{-d_1}{I_{11} + I_w} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-d_2}{I_{22} + I_w} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-d_3}{I_{33} + I_w} \end{pmatrix} \quad (16)$$

## 4 | CRITERION FOR CHANGING THE ACTUATOR

The implementation of the SDRE algorithm in real time has becomes more realistic because of the commercial microprocessor is getting faster. Here, the control system has to deal with two operation modes where the first one is the reduction of high angular velocity using gas jets and the second one is the control in three axes with fine pointing accuracy using reaction wheel. As a result, it is necessary to establish a criterion to change from one actuator to another. This criterion of course is function of the satellite space mission and the control system equipments. For example, from the angular velocity reduction mode to the normal mode of operation the criterion could be associated with the amount of energy that the reaction wheel can support before being saturated or with the minimum and maximum values of the gas jets capacity. The criterion used here is based on the total potential and kinetic energy of the system, which means that when the system reaches a certain level of energy the control algorithm change the type of actuator.

The potential energy associated with the angular displacement is

$$U = K_u \Delta\theta^2 \quad (17)$$

Where  $K_u$  is a constant and  $\Delta\theta$  represent the angular displacement of the simulator.

The simulator kinetic energy is given by

$$K = K_c w^2 \quad (18)$$

Where  $K_c$  is a constant and  $w$  is the angular velocity of the simulator. It is important to say that the constants  $K_u$  and  $K_c$  must be such to maintain the total system energy compatibles. Besides, the level of energy can be changed according with the kind of control system to be evaluated. Here one assumes certain level of energy just for simulation purpose.

## 5 | SIMULATION RESULTS

The superiority of the SDRE method to perform a regulation and tracking large angle manoeuvre over the LQR method has been demonstrated in [10]. Here, the simulation is to demonstrate the ability of the SDRE method to control a nonlinear plant based on switching control algorithm using the previously criterion of energy to change from the gas jets to reaction wheel action. The simulator platform can accommodate various satellites components; like sensors, actuators, computers and its respective interface and electronic. Therefore, the inertia moments of the simulator depend on the equipment's distribution over it. One uses the following typical inertia moment for the simulator:  $I_{11} = I_{22} = 1.17 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$  and  $I_{33} = 1.13 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ ; and for the reaction wheel  $I_x = I_y = I_z = 0.0018 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ . The maximum and minimum gas jet torque used is  $\pm 10 \text{ Nm}$  and the total amount of system energy to change from gas jets to reaction wheel is  $0.5 \text{ J}$ . In the fine pointing mode the typical sensor used are  $\theta = 0.2 \text{ (deg)}$  and  $\dot{\theta} = 0.1 \text{ (deg/s)}$ .

To demonstrate the performance of the SRRE controller one imposes a severe large angle maneuver which starts with  $0 \text{ (deg)}$  and ends having to track an angular reference of  $100, 50$  and  $70 \text{ (deg)}$ . The controller performance requirements are small overshoot and quick time of response. The controller robustness is associated with its ability to perform big tracking maneuver apart from the perturbations due to sensor noise and plant nonlinear terms. Besides, it is important to say that this performance is a function of the weighting matrices of the SDRE controllers. After some trial and error one gets the following values for matrices  $R = \text{diag} [0.0001 \ 0 \ 0; 0 \ 0.0001 \ 0; 0 \ 0 \ 0.0001]$  and  $Q = \text{diag} [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 100]$ .

Figures 2 and 3 show the angular displacement and angular velocity when the SDRE controller performs the simulator large maneuver from  $0^\circ$  and it has to track the previously angular reference. One observes that the SDRE ACS has good performance despite of the nonlinear terms of the plant and it is able to get the reference in about 250s.

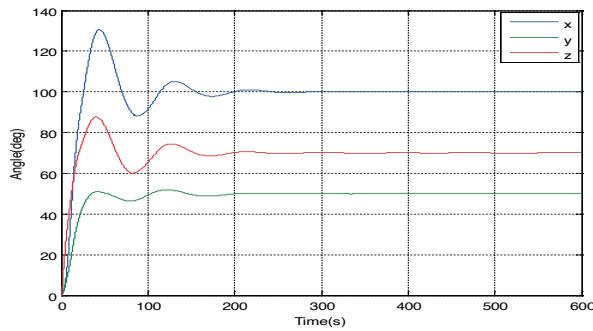


Fig. 2- Simulator angular displacement in x, y and z.

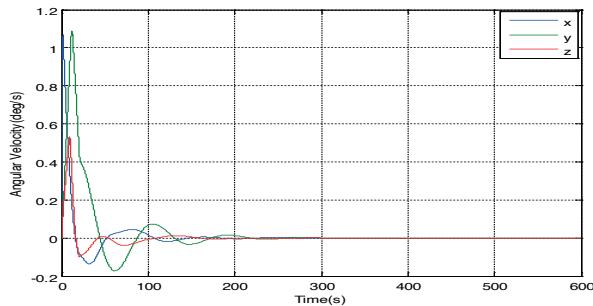


Fig. 3 – Simulator angular velocities in x, y, and z

Figure 4 show the SDRE controller the transition phase of the previously manoeuvre where the torque initially only due to the gas jets and Fig. 5 the torque is only due to the reaction wheel, respectively.

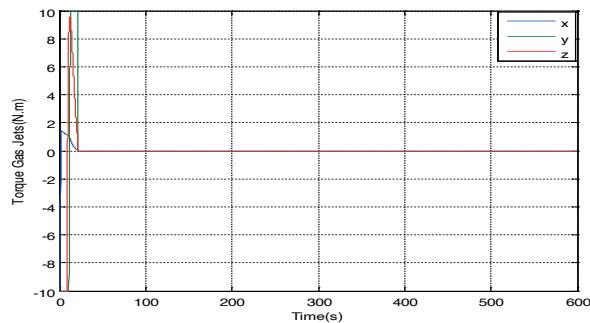


Fig. 4 - SDRE controller gas jets torque.

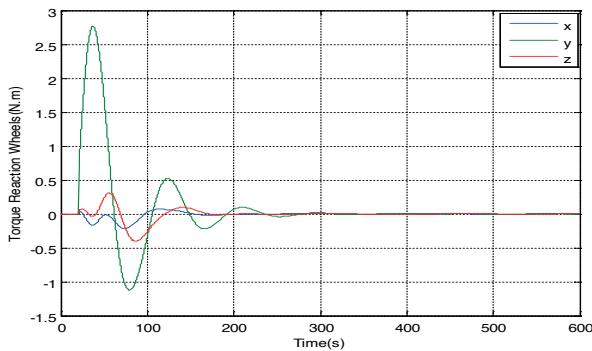


Fig. 5 - SDRE controller reaction wheel torque.

Figure 6 shows how the switching control algorithm works. That is, the gas jets stop acting and the reaction wheel starting acting when the criterion for changing actuators is achieved. That is, the system total energy equal to 0.5J.

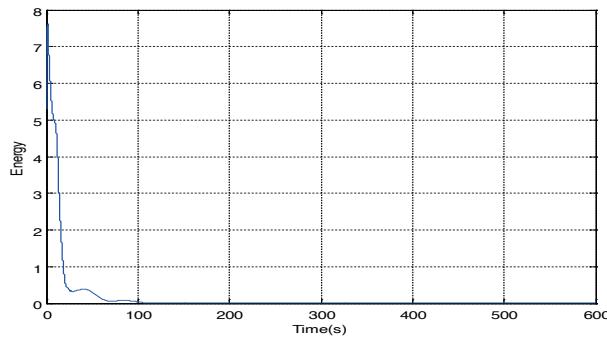


Fig. 6 – Actuators behaviours when achieves - 0.5J.

From simulations one observes that at the beginning of the manoeuvre the level of energy is high, because the simulator is far from the final attitude to be follow. As a result, the switching control algorithm selects as actuator the thrusters in order to deal with high angular velocities reduction. On the other hands, when the simulator reaches the small reference attitude the total energy decreases rapidly. So the switching control algorithm selects as actuators the reaction wheels, in order to perform fine pointing adjustment of the simulator. Finally, it is important to say that the criterion for changing the actuated based on the energy value defined in the program was established just to provide a good visualization of the torques from the two actuators during the simulation. However, further study of this actuated change can be done based in other criterion of optimization like minimum time manoeuvres or fuel, reaction wheel speed and pointing accuracy.

## 6 | CONCLUSION

In this paper one develops a general 3-D simulator nonlinear model, once it only depends on the inertia moment of the system. The Matlab/Simulink model is used to investigate large angle tracking manoeuvres in order to design a control algorithm based on the gas jet and reaction wheel, where the first actuator is used to reduce high angular velocity and the second one to perform fine pointing control. The switching control algorithm used to change from gas jet to reaction wheel action is based on the potential plus the kinetic energy of the system. Therefore, the transition between modes of operation occurs when the system reaches a certain level of energy. The nonlinear controller design uses the conjunction of the SDRE (State Dependent Riccati Equation) and SDRE filter methods to deal with high nonlinear simulator plant and system noise. Simulations have demonstrated the good performance and robustness of the SDRE controller to perform large angle tracking manoeuvres. The investigation has also shown that SDRE control algorithm can be implemented in satellite on board computer. The next step of this work is to compare the SDRE technique here developed with other nonlinear control methodology.

## REFERENCES

- [1] Souza, L C G. " Robust Control Design for a Flexible Space System with Mixed Uncertain Model". *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. (XVI), 1994, pp. 116-123.
- [2] Hall, C.D., Tsiotras and Shen, H. "Tracking Rigid Body Motion Using Thrusters and Momentum Wheels". *Journal of the Astronautical Sciences*. (3), 2002, pp. 13-20.
- [3] Mainenti-Lopes, I. , Souza, L. C. G., Sousa, F. L., Cuco, A. P. C. " Multi-objective Generalized Extremal Optimization with real codification and its application in satellite attitude control", Proceedings of 19th International Congress of Mechanical Engineering , Gramado, 2009, Brasil.
- [4] Conti, G T and Souza, L C G. "Satellite Attitude System Simulator", *Journal of Sound and Vibration*, (15), 2008, pp. 392-395.
- [5] Lee, A. Y. and Wertz, J. A. "In-flight estimation of the Cassini Spacecraft inertia tensor". *Journal Spacecraft*, (39),1, 2002, pp.153-155.
- [6] Cubillos, X C M and Souza, L C G. "Using H-infinity Control Method to Design an Attitude Control System of Rigid-Flexible Satellite". *Mathematical Problem Engineering*., 2009, pp. 1-10.
- [7] Souza, L. C. G., "Design of Satellite Control System using Optimal Non-Linear Theory", *Mechanics Based Design of Structures and Machine*, (1), 2008, pp. 1-20.
- [8] Donald T. D. and Coulter R. J. " Position and Attitude control of a Spacecrafts Using the State-Dependent Riccati Equation Technique". *American Control Conference*, 2000, Chicago, USA.

- [9] Guidoni, G R and Souza, L C G. "Application of the SDRE method to Design an Attitude Control System Simulator". *Advances in Astronautical Sciences*, (134) , 2009, pp. 2251-2258.
- [10] Menon P.K. ; Lam T. ; Crawford L. S.; Cheng V. H L, "Real Time Computational Methods for SDRE Non-linear Control of Missiles". *American Control Conference*, May 8-10, 2002, AK, USA.
- [11] D. K. Parrish and D. B. Ridgely. "Attitude control of a satellite using the SDRE method". In Proceedings of the American Control Conference, Albuquerque, New Mexico, 1997.
- [12] A. Isidori. *Nonlinear Control Systems*. Springer-Verlag, New York, New York, 1995.
- [13] J. S. Shamma and M. Athens. Analysis of gain scheduled control for nonlinear plants. *IEEE Trans. on Auto. Control*, 35(8):898{907, 1990.
- [14] J.-J. E. Slotine. *Applied nonlinear control*. Prentice Hall, Englewood Cli®s, New Jersey, 1991.
- [15] K. Zhou, J. Doyle, and K. Glover. *Robust and Optimal Control*. Prentice Hall, Englewood Cli®s, New Jersey, 1996.
- [16] Cloutier, J. R. , D'Souza, C. N. and Mracek, C. P., "Nonlinear Regulation and Nonlinear H-infinity Control via the State-Dependent Riccati Equation Technique: Part 1. Theory. In Proceedings of the First International Conference on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace, Daytona Beach, Florida, 1996.
- [17] Cloutier, J. R., "State-Dependent Riccati Equation Techniques; An Overview", Proceedings of the American Control Conference, Albuquerque, New Mexico – June, 1997 –USA.

## CAPÍTULO 7

# LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE TELHAS ECÓLOGICAS E CERÂMICAS

---

*Data de submissão: 27/09/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **Adalton Ferreira Guimarães**

Instituto Federal do Piauí – IFPI

Teresina-PI

<http://lattes.cnpq.br/6319317418343719>

### **Luiz Henrique Deolindo da Silva Moura**

Centro Universitário UNINOVAFAPI

Teresina-PI

<http://lattes.cnpq.br/2877009435469466>

### **Dorivaldo Pereira Carvalho**

Universidade Estadual do Piauí – UESPI

Teresina-PI

<https://lattes.cnpq.br/3833103848083707>

**RESUMO:** Esta pesquisa tem como principal objetivo, aplicar a Lei de Resfriamento de Newton na análise do comportamento de telhas ecológicas e telhas cerâmicas quanto ao aquecimento e ao resfriamento. Para tal, foi realizada uma pesquisa experimental onde ambos os tipos de telhas foram induzidos a uma temperatura inicial de 33°C e expostas ao sol a uma temperatura ambiente de 38°C, por um período de 10 minutos, onde a telha ecológica chegou a 42,9°C e a cerâmica 42,2°C. Esses dados foram lançados em uma EDO (Equação Diferencial Ordinária) de modelagem formulando

um PVI (Problema de Valor Inicial) de comportamento térmico para ambas as telhas. Em posse das equações foi possível concluir que a telha Ecológica apresenta um menor potencial quando se trata de conforto térmico para regiões que sofrem com altas temperaturas pois, diferentemente da telha cerâmica, ela tende a aquecer mais rápido e resfriar mais lentamente. Nos gráficos relacionados é possível observar que a telha cerâmica se sobressai no quesito resfriamento, considerando que ela apresenta características nas quais a possibilita um alcance de equilíbrio térmico com o ambiente, quando esse encontra-se a temperatura diferente, em um tempo considerado curto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equações Diferenciais. Lei de Resfriamento de Newton. Telhas Ecológicas. Telhas Cerâmicas.

**NEWTON'S LAW OF COOLING:  
ANALYSIS OF THERMAL BEHAVIOR  
OF ECOLOGICAL AND CERAMIC  
TILES**

**ABSTRACT:** This research has as main objective, to apply the Law of Cooling of Newton in the analysis of the behavior of ecological tiles and ceramic tiles in relation

to the heating and the cooling. For this, an experimental research was carried out where both types of tiles were induced at an initial temperature of 33 ° C and exposed to the sun at an ambient temperature of 38 ° C for a period of 10 minutes, where the ecological tile reached 42.9 ° C and the ceramic 42.2 ° C. These data were released in an ODE (Ordinary Differential Equation) modeling formulating a thermal behavior value (PVI) for both tiles. In the possession of the equations it was possible to conclude that the Ecological tile presents a lower potential when it comes to thermal comfort for regions that suffer from high temperatures because, unlike ceramic tile, it tends to heat faster and cool more slowly. In the related graphs it is possible to observe that the ceramic tile excels in the cooling issue, considering that it presents characteristics in which it allows a reach of thermal equilibrium with the environment, when this is the different temperature, in a considered short time.

**KEYWORDS:** Differential Equations. Newton's Cooling Law. Ecological Tiles. Ceramic Tiles.

## 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Bronson (2008), equações diferenciais são aquelas que apresentam derivadas ou diferenciais nas quais suas funções ainda não são conhecidas. As Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) englobam derivadas de uma função que apresentam variáveis independentes. A utilização de EDO possibilita ao indivíduo desenvolver modelos matemáticos apropriados e a descrever fenômenos de inúmeros tipos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos. A engenharia é umas das principais ciências aplicadas que utilizam as EDO para o desenvolvimento de projetos de diversas naturezas. E considerando a engenharia civil, sua utilização pode interferir desde a produção de um simples bloco cerâmico, até construções de obras de grande porte, como edifícios, pontes, barragens etc.

Para este artigo buscou-se aplicar a Equação Diferencial Ordinária (EDO) desenvolvida na Lei de Resfriamento de Newton, para avaliação do comportamento térmico de telhas cerâmicas em relação a telhas ecológicas quando são submetidas às mesmas variações de temperaturas em um dado tempo. Considerando que está lei assegura que as taxas de perda de calor de determinado corpo é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre esse corpo e o meio ambiente no qual o mesmo está inserido, de maneira direta, demonstra como variáveis o tempo e a variação de temperatura entre os agentes do estudo, considerando tanto a forma do objeto quanto a sua composição.

Deste modo, a lei de resfriamento será aplicada no estudo de telhas ecológicas e cerâmicas, considerando que os materiais que as compõem são extremamente diferentes. O que resultaria em respostas diferenciadas para ambos os estudos.

É importante ressaltar que a telha ecológica é uma invenção inovadora a qual buscou utilizar matéria prima reciclada, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pelo acúmulo de matérias na crosta terrestre, o que vem provocando desequilíbrio ambiental e que poderá comprometer um dia a vida e o bem-estar humano porém, o fato destas telhas apresentarem características ambientais louváveis não elimina a característica que podem

gerar um desconforto térmico ou financeiro com a sua implantação.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Conexão dos conceitos e domínios matemáticos com as pesquisas analíticas e execução ou análise de experimentos permite o entendimento de diversos fenômenos tanto físicos, como químicos e biológicos, plausíveis por meio de modelagens matemáticas aplicando as equações diferenciais ordinárias para prevenir determinadas reações de qualquer material, e ainda soluções para os diversos problemas encontrados por meio de uma EDO adequada a descrever ou demonstrar esses fenômenos, possibilitando um aperfeiçoamento na qualidade dos processos.

Nesse sentido, em Dennis Zill (2009), podemos observar que uma equação diferencial abrange uma função incógnita e tanto ela como suas derivadas são descritas como ordinárias se sua função incógnita dependa somente de uma variável independente, considerando que sua ordem seja a mesma da mais elevada derivada presente na equação. Essa pesquisa baseia-se na Lei de Resfriamento de Newton na qual temos uma EDO linear de 1º ordem, estudada pelo método de variáveis separáveis, como descrita adiante:

$$\begin{cases} F(t, y, y') = 0 \\ \frac{dT}{dt} = f(t, y) \end{cases}$$

A partir disso descreve-se a equação da seguinte forma:

$$M(t, y)dt + N(y)dy = 0$$

Observa-se, então, que é admissível separar as funções para que cada membro da igualdade possua apenas um tipo de variável, permitindo assim a execução da integral em cada um dos membros de maneira simplificada e uma solução mais rápida.

A partir de diversas pesquisas bibliográficas e dos experimentos executados pela equipe foi possível realizar algumas considerações que esclareceram e colaboraram para a criação deste artigo.

## 3 | ANÁLISE TEÓRICA E MODELO MATEMÁTICO

Na análise de objetos a diferentes temperaturas é possível observar se os mesmos estão em contato. Se positivo, existirá uma transferência de calor do mais quente para o corpo mais frio até que ocorra um equilíbrio térmico, ou seja, quando ambos atingirem a mesma temperatura.

A Lei de Resfriamento de Newton permite a confirmação e a análise dessa observação, pois ela demonstra que a obtenção do equilíbrio térmico de um determinado sistema, englobando a partir de dois corpos acontece quando todos alcançam a mesma

temperatura. Bronson (2008) descreve que a taxa da variação no tempo da temperatura de um objeto é proporcional a variação de temperatura entre este objeto e o meio ambiente no qual ele está inserido.

De acordo Bassanezzi e Ferreira (1988), se um corpo qualquer, sem produção de calor interno, infiltrado em um ambiente que apresenta temperatura, a temperatura do mesmo procede a entrar em equilíbrio com a temperatura do meio ambiente. Se a temperatura do corpo for menor que a temperatura do ambiente ( $T < T_a$ ) ele se aquecerá, senão ele se resfriará ( $T > T_a$ ). Considerando a temperatura do corpo como uniforme ela se comportará como uma função do tempo, assim,  $T = T(t)$  quanto maior for,  $|T - T_a|$  mais acelerada será a variação de  $T(t)$ .

Por definição, temos que a Lei de Resfriamento de Newton se apresenta, equivalentemente, na EDO de modelagem

$$\frac{dT}{dt} = K(T - T_a)$$

Onde,  $\frac{dT}{dt}$  é a variação da temperatura em relação ao tempo,  $K$  é um coeficiente de proporcionalidade, o qual vai depender do material exposto,  $T$  é a temperatura do corpo no tempo  $t$  e  $T_a$  é a temperatura do meio ambiente. Utilizando o método de separação de variáveis obtemos:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{T - T_a} &= kdt \Rightarrow \int \frac{dT}{(T - T_a)} = \int Kdt \\ \Rightarrow \ln(T - T_a) &= Kt + C \Rightarrow |T - T_a| = e^{Kt+C} \\ \Rightarrow |T - T_a| &= e^{Kt} \cdot e^C \Rightarrow T - T_a = \pm C_1 \cdot e^{Kt} \\ \Rightarrow T(t) &= T_a + C_2 \cdot e^{kt} \end{aligned}$$

Onde, para simplificar notação, fizemos  $e^C = C_1$  e posteriormente  $\pm C_1 = C_2$ .

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foram utilizados um exemplar de telha cerâmica, um de telha ecológica e um termômetro digital de alta sensibilidade para aferição de temperaturas superficiais e ambientais.

A telha ecológica estudada é composta por fibras vegetais de madeiras das mais variadas espécies e características, empregadas no auxílio dos componentes cimentícios. Para a produção dessas novas telhas são utilizadas também fibras de papel reciclado. As telhas possuem uma composição inovadora: A sua estrutura leva uma monocamada de material vegetal que são misturadas a betume, e em seguida envolvidas por uma resina especial. Essa resina proporciona proteção contra os raios ultravioletas, conservando a cor escolhida, e impedindo a escamação da superfície, comuns nas telhas com multicamadas

(YOSHIMURA, 2012).

A telha cerâmica utilizada foi composta basicamente por argila (20%-30%), areia (50%-60%), limo (2%-5%), óxido de ferro (no máximo 6%) e magnésio (no máximo 1%). Tudo isso em uma mistura homogênea exposta a uma temperatura próxima de 900° C (VIEIRA, 2013).

Ambas as telhas foram inicialmente induzidas a uma temperatura de 33° C e posteriormente colocadas a céu aberto a uma temperatura de 38° C expostas a luz solar.

## 5 | RESULTADOS

Ambas as telhas com temperaturas iniciais de 33° C expostas a luz solar com temperatura ambiente de 38° C por um período de 10 minutos apresentaram as seguintes variações:

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) De 38°C exposta à luz solar	T(t) $t=10\ min$
		42,2° C
Ecológica		42,9° C

Tabela 1: Variação de  $T(t)$  para  $T_a=38^\circ\text{C}$  à luz solar.

OBS: FAZER O GRÁFICO DE AQUECIMENTO INCLUINDO A TEMPERATURA PARA 7 min e também para 15 min.

De posse desses dados foi possível a aplicação da Lei de Resfriamento de Newton, obtendo respectivamente as seguintes equações para a variação de temperatura em função do tempo para ambas as telhas.

### Equação 1: (Cerâmica)

$$T = 5e^{-0,01744t} + Ta$$

### Equação 2: (Ecológica)

$$T = 5e^{-0,00202t} + Ta$$

Para representação da aplicação das equações utilizaremos dados aleatórios para ambas, considerando as mesmas expostas a uma temperatura ambiental ( $T_a$ ) qualquer, em tempo variável:

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente (Ta) De 45°C exposta à luz solar	Tem t(7)min.	Tem t(30)min.	Tem t(120)min
		49,42° C	47,96°C	45,67°C
Ecológica		49,92° C	49,70° C	48,92° C

Tabela 2: Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

### Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

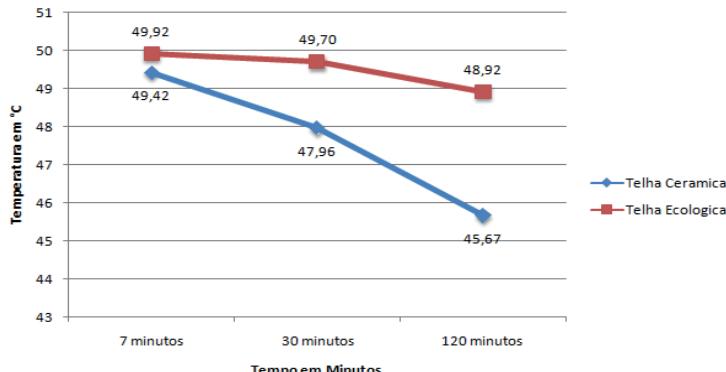


Figura 1: Variação de T (t) para Ta=45° C à luz solar.

Tipo de Telha	Temperatura Ambiente (Ta) De 20°C exposta à luz solar	Tem t(7)min.	Tem t(30)min.	Tem t(120)min
		24,42° C	22,96° C	20,60° C
Ecológica		24,92° C	24,70° C	23,92° C

Tabela 3: Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

### Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

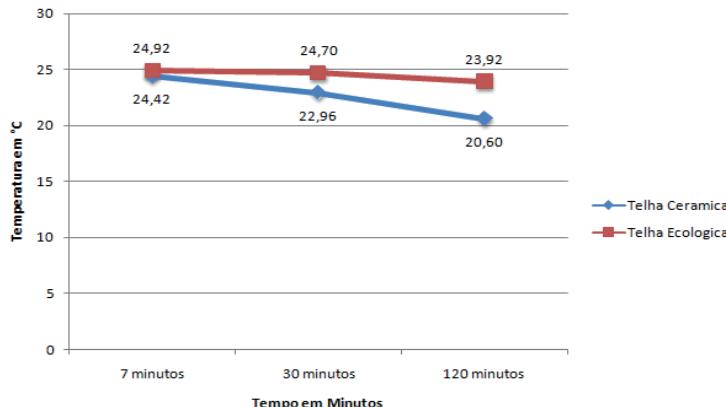


Figura 2: Variação de T (t) para Ta=20° C à luz solar.

## 6 | CONCLUSÃO

Considerando o Experimento realizado com a aplicação da Lei de resfriamento de Newton a telhas Ecológicas e cerâmicas, quando expostas a diferentes temperaturas em determinados períodos de tempos e consequentemente formulando uma equação para análise do comportamento desses materiais quando colocados a qualquer temperatura a qualquer período de tempo, concluímos que a telha Ecológica apresenta um menor potencial quando se trata de conforto térmico para regiões que sofrem com altas temperaturas, pois diferentemente da telha cerâmica ela tende a aquecer mais rápido (Figura 1) e resfriar mais lentamente (Figura 2). Nos gráficos relacionados é possível observar que a telha cerâmica se sobrepõe no quesito resfriamento, considerando que ela apresenta características nas quais a possibilita um alcance de equilíbrio térmico com o ambiente, quando esse encontra-se a temperatura diferente, em um tempo considerado curto.

Portanto a telha ecológica apresenta duas desvantagens básicas para os habitantes do nordeste brasileiro, pois é desconfortável termicamente e o preço para sua instalação é aproximado do dobro da telha cerâmica comum.

## REFERÊNCIAS

- BASSANEZI, R.C.; FERREIRA JR, W.C. **Equações diferenciais com aplicações**. São Paulo: Harbra Ltda, 1998.
- BRONSON, R.; COSTA, G. **Equações diferenciais**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima (Ceramic bodies for roofing tiles: characteristics and firing behavior). **Cerâmica**, v. 49, 2013.
- ZILL, Dennis G.; CULLEN, Michael R. **Matemática Avançada para Engenharia-Vol II**. Bookman Editora, 2009.
- YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológicas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, 2012.

# CAPÍTULO 8

## IMPACT OF PEROVSKITES WITH CATALYTIC ACTIVITY IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRIES FOR REDUCTION OF POLLUTANTS

*Data de submissão: 10/10/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

### **D. N. Oliveira**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **J. A. S. Santos**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **L. A. S. Costa**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **S. L. Castro**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **V. D. B. Medeiros**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **Y. I. C. Rodrigues**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

### **F. M. M. Borges**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Ciências e Tecnologia, Natal, Brazil

To eradicate possible taxes, this work focuses on the catalysis of volatile organic compounds through perovskite  $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ , which were synthesized and characterized by thermal, structural and morphological analysis including catalytic evaluation. Through the studies the catalyst economically demonstrated contribution to the companies from the high conversion rate of 99%.

**KEYWORDS:** Catalyst, Automotive, Environmental, Perovskite, Pechini.

## INTRODUCTION

With the growth in the emission of harmful pollutants into the atmosphere, the search for restrictive measures that contribute to their reduction has intensified. One of these measures is the Polluter Pays Principle (PPP), which consists of forcing the polluter to bear the costs of the damage caused by him to the environment [1]. Therefore, considering the environment and the profitability of companies, especially automobile companies, the use of an automotive catalytic converter is one of the methods that can be used to

**ABSTRACT:** Charges referring to the polluter pays principle are measures that aim at the reduction of pollutants.

reduce its impacts and eradicate possible charges related to the PPP [1]. The perovskite  $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$  (LCMO) type automotive catalyst has catalytic characteristics capable of converting volatile organic compounds (VOCs) into less harmful gases [2]. Therefore, this work aims to evaluate the obtainment and efficiency of LCMO catalyst via Pechini, through the characterization techniques of thermal, structural and morphological analysis, with catalytic evaluation for applicability in automotive industries in relation to conversion and more affordable cost.

## EXPERIMENTAL PROCEDURE (OR COMPUTATIONAL PROCEDURE)

The procedure consisted in the use of Vetec's regents:  $\text{La}(\text{NO}_3)_{3.6}\text{H}_2\text{O}$  (98.0%),  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_{2.4}\text{H}_2\text{O}$  (98.0%) and  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_{2.6}\text{H}_2\text{O}$  (98.0%), citric acid (99.5%) and ethylene glycol (99.5%) in a 60:40 to 1:1.5 (metal : citric acid) ratio. In which, dilution of the regents slowly occurred in distilled water under stirring at 60-70 °C for 1 h until a polymeric resin was formed. These were subjected to pre-calcination for 4 h with heating rate 10 °C/min-1 at a temperature of 350 °C to form the precursor powder. The obtained powder was characterized by ATG by Shimadzu equipment, model TGA50. Subsequently, the powders were calcined at 700 and 900 °C for 4 h and characterized by XRD (Shimadzu XRD-6000), SEM-FEG (XL30 ESEM, Philips). The specific area and average pore size for microstructural analysis of the material were obtained by BET and BJH in a Belsorp II mini Bel Japan equipment. The evaluation of the catalytic activity was performed from the analysis of the stability and conversion into CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in methane combustion reactions, under the conditions with a rate of 5 °C min-1 in a range from 200 to 800 °C.

## RESULTS AND DISCUSSION

The ATG (Figure 1) showed that the thermal stability of the material occurred at approximately 750 °C and there was a loss of approximately 32% mass, the first loss was related to the dehydration of the material happening around 400 °C and the second related to the decomposition of organic matter obtained in the synthesis, approximately between 400 and 700 °C [2].

The XRD (Figure 1) showed that the partially substituted perovskite phase were obtained at both calcination temperatures, at 700 and 900 °C, without the presence of secondary phases, and confirmed by the PDF 44-1040 chart, with the average crystallite size (18.79 and 33.78 nm) confirms high crystallinity, obtained by X'pert-Highscore software [2].

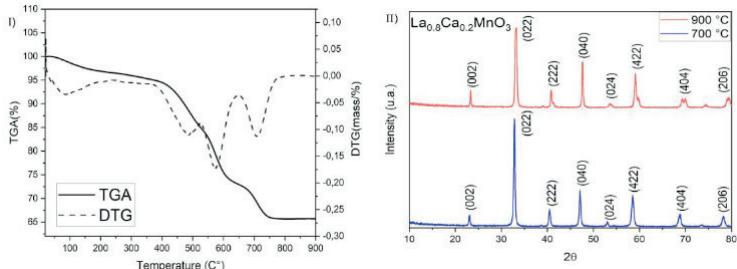


Figure 1: I) Thermogravimetric curves of precursor powders calcined at 300 °C/4h; II) Diffractograms of specimens calcined at 700 °C/4h and 900 °C/4h

Figure 2 represents the images generated by SEM-FEG, in which we can observe the formation of homogeneous powders. The BET and BJH analyses confirmed that the surface area and the average pore diameter (mesopores) is larger at lower temperature (Table 1), a positive factor, especially at 700 °C, where the best performance is expected and for the economic issue for its applicability [2].

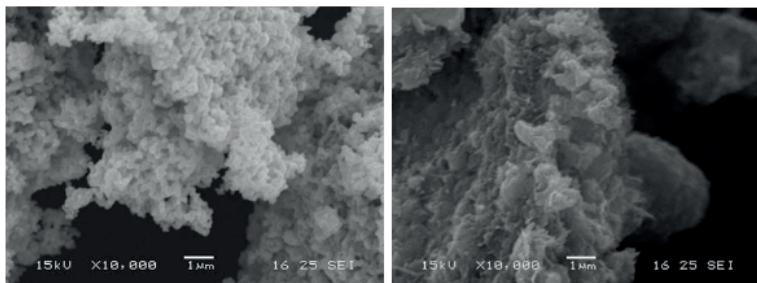


Figure 2: SEM images of samples calcined at 700 °C/4h and 900 °C/4h

Temperature/°C	Specific area m <sup>2</sup> /g	Average pore diameter/nm	Average pore diameter/Å
700	12.400	2.1141	20
900	0.35638	1.806	18

Tabela 1: Specific area and average pore diameter of the compound  $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$  calcined at 700 and 900 °C/4h

The catalyst of  $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$  showed a high catalytic activity in methane combustion reactions, converting approximately 100% of methane into carbon dioxide and water at a temperature of 800 °C and remained stable throughout the reaction time, this result is due to the success of the proposed synthesis method and the partial replacement of lanthanum by calcium, which generated structural defects in the network enabling the enhancement of important properties for catalysis as crystallinity, porosity, homogeneity and thermal stability. These results corroborate that the proposed method of synthesis was satisfactory to obtain the catalyst making the material viable for automotive catalysis [2].

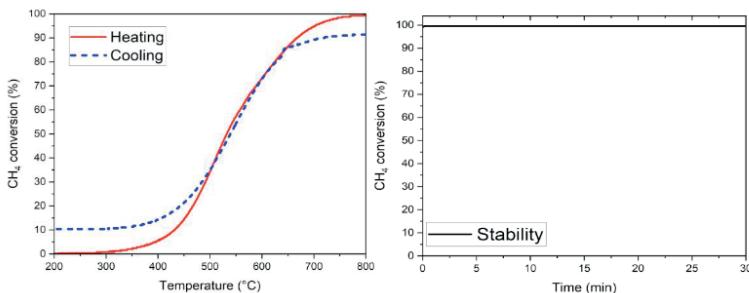


Figure 3: Heating and Cooling ramps from 200 to 800 °C of the samples calcined at 900 °C and curves of Stability

## CONCLUSIONS

In view of all the results discussed, it is possible to conclude that the catalyst is effective in the conversion into  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  and economically viable. Characteristics such as porosity, homogeneity, and crystallinity are of paramount importance for the proper functioning of the catalyst, and even at high temperatures, such characteristics are maintained, which causes high performance, with percentages that reach almost 100% of material efficiency.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank ECT/UFRN, REUNI, CTGAS-RE/RN, PPgCEM and PROPESEQ.

## REFERENCES

- Corvino, Fausto. The forward-looking polluter pays principle for a just climate transition. Critical Review of International Social and Political Philosophy, p. 1-28, 2023.
- Marques. A. C. et al. Efeito da contração lantanídica na atividade catalítica das perovskitas A(1-X)  $\text{CaXMnO}_3$  (A = La, Pr, Gd). Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia 5. Curitiba: Editora Atena. 2019.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMEESP) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursou o segundo estágio (2022-2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atuou como técnico em laboratório/Química pelo Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI de Minas Gerais e Goiás. Atualmente é professor de química do Colégio Militar do Tocantins em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV\ C$ ,  $TiO_2/UV-A$  e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 90 e-books e publicou 44 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas.

**A**

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 4  
Antenas de microfita 53, 54, 55, 64, 65  
Aquecimento 77, 81  
Armazenamento de energia 3, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 18, 21, 23, 24  
Arranjo log-periódicos 59  
*Attitude Control System (ACS)* 66, 70, 75, 76  
*Automotive catalysis* 86  
Avarias 27, 29, 30, 31, 36, 37

**C**

- Catalytic activity* 84, 85, 86

**E**

- Energia eólica 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26  
Equações diferenciais 77, 78, 79, 83

**F**

- Feedback* 45, 46, 67, 68  
Fibras vegetais 80  
Fontes renováveis 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 23, 24  
*Fractal de Minkowski* 53, 55, 56

**H**

- Hidrelétrica 3, 5, 8

**I**

- Inteligência Artificial 8, 27, 29, 30, 34, 36, 37, 38, 42, 45  
Inteligência ciente do contexto 39, 42, 43, 45, 51  
Inteligência Humana 27, 29, 30  
Internet das Coisas (IoT) 18, 45, 54

**L**

- Lei de Resfriamento de Newton 77, 78, 79, 80, 81  
*Linear Quadratic Regulation (LQR)* 67  
Lógica Fuzzy 44  
Lubrificação 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38

**M**

- Machine Learning* 41, 42, 45, 46  
Manutenção preventiva 32, 34, 38  
Mapas Cognitivos Fuzzy 39, 41, 42, 43, 44  
Meio ambiente 15, 20, 22, 23, 25, 78, 80, 87, 88  
*Methane* 85, 86  
Micro-ondas 53, 54, 56, 59, 62, 64, 65  
Motor 1.0 27, 29, 30, 31, 32  
Motores 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38  
Mudanças climáticas 3, 5, 15, 21, 22, 23, 24

**N**

- National Institute for Space research (INPE)* 66

**O**

- Óleo 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

**P**

- Parâmetros ambientais 46, 48, 49  
Parques eólicos 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25  
*Polluter Pays Principle (PPP)* 84, 87

**R**

- Resfriamento 33, 77, 78, 79, 80, 81, 83

**S**

- Segurança energética 3, 5, 23  
Sistema elétrico brasileiro 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11  
*State Dependent Coefficients (SDC)* 67, 68  
*State-Dependent Riccati Equation (SDRE)* 66, 67, 76  
Superaquecimento 32, 33, 35, 37  
Sustentabilidade 5, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 37, 87

**T**

- Técnicas de *clustering* 41  
Telecomunicações 54, 65  
Telhas cerâmicas 77, 78  
Telhas ecológicas 77, 78

Temperatura 22, 33, 46, 48, 49, 51, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83

Termelétrica 3

*Thermogravimetric curves* 86

## V

*Volatile Organic Compounds* (VOCs) 84, 85

Ciência, tecnologia e  
inovação na perspectiva das  
**engenharias**

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- ⌚ [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Ciência, tecnologia e  
inovação na perspectiva das  
**engenharias**

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 👤 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- 👤 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)