



Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 10

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)



AYA EDITORA

2024

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos

Vol. 10

Ponta Grossa
2024

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharias

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

Universidade Estadual de Londrina

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Me. Jorge Soistak

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

Universidade Norte do Paraná

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

**Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros
Rodrigues**

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira
Miranda Santos**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

© 2024 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2024. 249 p.

v.10

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-476-4

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300

11. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Fluidodinâmica computacional. 3. Física matemática. 4. Pavimentos de asfalto. 5. Revolução industrial. 6. Automação industrial. 7. Alumínio. 8. Habitação popular. 9. Arquitetura sustentável. 10. Construção civil - Aspectos ambientais. 11. Construção civil - Aspectos ambientais. 12. Desenvolvimento sustentável. 13. Logística empresarial – Administração. 14. Agricultura – África. 15. Agrobiodiversidade. 16. Agricultura sustentável. 17. Ecologia agrícola. 18. Ecologia vegetal. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 12

01

Utilização do *machine learning* na obtenção de esforços aerodinâmicos do vento em turbinas eólicas.13

Carlos Vitor da Silva Sarmiento

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.1

02

Análise da influência do fator de rugosidade e do efeito de vizinhança e do efeito de vizinhança no cálculo da força do vento em um edifício baixo 23

Carlos Vitor da Silva Sarmiento

Marcílio Matias da Silva Filho

João Ricardo Pereira da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.2

03

Avaliação objetiva do pavimento da rodovia BR-364/RO 38

Alex Gomes Pereira

João Henrique Lacerda Melo Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.3

04

Manutenção por meio de tecnologias da indústria 4.0: revisão da literatura 52

Emerson Rodrigues Prazeres
Eric Elian Lima Espíndola
Amanda Lucena de Medeiros
DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.4

05

Estudo da microestrutura do cordão de solda em soldagem por arco submerso de aço carbono com base na variação do balanço de onda em corrente alternada de onda quadrada 58

Fábio Bandeira Oliveira
Ricardo Dourado Santos
Magda dias Gonçalves Rios
Antonio Carlos Santos Arruda
Douglas Morais
Rodrigo Melo Gandini

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.5

06

Correlação entre as características macroestruturais, elétricas e mecânicas das ligas AL-1% e AL-2%Si 71

Luane Luiza Pereira Marques
Wellington Bruno Silva de Jesus
Héricles Ruiliman Oliveira de Souza
Amanda Lucena de Medeiros
Emerson Rodrigues Prazeres
Deibson Silva da Costa
Maria Adrina Paixão de Souza da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.6

07

Uma abordagem sustentável na arquitetura de habitações sociais 80

Bárbara Cavalcante Brandão
DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.7

08

A internet das coisas e a gestão logística na coleta de resíduos sólidos 90

Lilian Regina Gomes da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.8

09

Planta de dessalinização a ser implantada em um município Fortaleza no Ceará, provendo um reforço na captação de água potável, nestas regiões 103

Paulo Marcos Cabral Junior
Paulo Sérgio Rosa Fernandes

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.9

10

Produção em laboratório do hidrogênio reciclável, a partir da água destilada, utilizando eletrolisador do tipo *Proton Exchange Membrane* 115

Paulo Marcos Cabral Junior
Paulo Sérgio Rosa Fernandes

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.10

11

Padronização do modelo de cultivo de *Cordyceps militaris* a partir de substrato de arroz..... 125

Katherine Plautz
Gabriela Borgmann
Alessandra Betina Gastaldi
Natalia Cavichioli
Gustavo Schuetzler Gomes Fernandes
Mirela Parissa Bondan Misaghi
Luana Gabriely de Almeida Campos
Simona Renz Baldin
Débora Delwing-Dal Magro
Daniela Delwing de Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.11

12

Índice de condição da manutenção..... 136

Alex Gomes Pereira
Daniel Gomes de Farias
Vanessa Melo da Silva
Enzo Colombo Bueno Oliveira
José Carlos Dias Curvelo Júnior

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.12

13

A manutenção industrial como metodologia para inovação organizacional..... 142

Felipe Gomes de Almeida Pereira
Gabriel Matias Costa
Valmir Geraldo de Souza Júnior
Deocleciano Reis Martins
Antonio Carlos Santos de Arruda

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.13

14

Logística em canteiro de obra: um estudo de caso na distribuição de telas de aço..... 153

Aline Maria Ventura
Marlon Barros Correa
Jean Bernard Soares da Silva
Thaís Boaventura Dourado

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.14

15

Levantamento do índice de condição da manutenção da BR-319/RO 159

Daniel Gomes de Farias
Luis Bruno Teixeira Cruz
Moacir Moises dos Santos
Alex Gomes Pereira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.15

16

Torre de Pisa: um estudo de caso 167

Iuriane Silva Prado
Bruno Tello Ramírez
Graziele Nascimento Salles
Ítalo Mourão Lopes
Alex Gomes Pereira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.16

17

Analytical study for simulating incompressible fluid flow in mathematics..... 178

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos
Jorge Henrique de Oliveira Sales

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.17

18

Índice de desempenho de resfriamento sazonal, o IDRS, substitui o CEE, coeficiente de eficiência energética no Brasil, motivado pela aplicação de inversores de frequência em sistemas de climatização residencial. 189

Lucas Coelho da Silva
Douglas Morais
Mauro da Silva Santos
Leandro Cleyton da Silva
Alan de Paula Marques

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.18

19

Meio Ambiente e a “imparcialidade” do Estado: casos Mariana e Brumadinho 206

João Damaceno Filho
Gabriel Assis de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.19

20

Underutilized food plants in Africa and contributions to more sustainable and healthy food systems: a bibliometric review 218

Silmo Schüler
Patrik Gustavo Wiesel
Nilmar Azevedo de Melo
Bruno Deprá
Marcos Henrique Schroeder
Eduardo Alcayaga Lobo
DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.20

Organizador..... 243

Índice Remissivo..... 244

Apresentação

Bem-vindo ao décimo volume de “Tópicos Especiais em Engenharia”, uma obra que reúne os últimos avanços e inovações no campo da engenharia. Este livro oferece uma visão ampla sobre diversos temas, desde energias renováveis e sustentabilidade até avanços na Indústria 4.0 e manutenção de infraestruturas.

O primeiro tema aborda como o machine learning está ajudando a melhorar o desempenho de turbinas eólicas, marcando um ponto importante na união entre tecnologia digital e energia limpa. Em seguida, exploramos os desafios de construir em áreas urbanas, como calcular a força do vento em edifícios, e como a manutenção de estradas e fábricas é crucial para a durabilidade e eficiência.

Damos uma atenção especial aos materiais, com estudos sobre a soldagem de aço carbono e as propriedades de ligas de alumínio, mostrando a importância da pesquisa em materiais para a inovação na fabricação.

A sustentabilidade é um tema recorrente, discutido em capítulos sobre construção de habitações sociais ecológicas, gestão de resíduos com a ajuda da Internet das Coisas e a busca por sistemas alimentares mais saudáveis e sustentáveis na África.

Inovações tecnológicas também são destacadas, incluindo a produção de hidrogênio limpo a partir de água destilada e o desenvolvimento de plantas de dessalinização para combater a escassez de água potável.

Por fim, o livro não evita temas desafiadores, como os desastres ambientais de Mariana e Brumadinho e a preservação de estruturas históricas como a Torre de Pisa, enfatizando a importância da engenharia na resolução de problemas sociais e na manutenção de nosso patrimônio.

Este volume é um guia essencial para quem se interessa por onde a engenharia está indo e como ela está moldando o futuro, mostrando que a inovação e a sustentabilidade são as chaves para enfrentar os desafios do nosso tempo.

Boa leitura!

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Editor Chefe

Utilização do *machine learning* na obtenção de esforços aerodinâmicos do vento em turbinas eólicas

Carlos Vitor da Silva Sarmiento

Doutor em Engenharia civil - Estruturas, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

RESUMO

O aprendizado de máquina tem se tornado uma ferramenta poderosa nas engenharias. Na análise de estruturas, cálculos numéricos (computacionais) demandam horas de simulações e iterações matemáticas. Com isto, o *machine learning* é utilizado a contribuir na solução de problemas de engenharia com solução numérica desconhecida, ou de alto custo computacional. Um problema de engenharia que demanda cálculos complexos é a análise dinâmica de estrutura. Os dimensionamentos em regime transiente requerem passos de tempo reduzidos, capazes de capturar as pequenas escalas temporais. Desta forma o *machine learning* surge como um forte candidato nas análises aerodinâmicas e dinâmica estrutural em turbinas eólicas. Neste estudo foi utilizada a turbina eólica NREL 5MW, com 86m de altura com condições de instalação de engastada no solo. As simulações foram conduzidas via programa MATLAB, utilizando suas próprias bibliotecas de aprendizado de máquinas. Foram conduzidas várias simulações via programa FAST para treinar o modelo, objetivando a precisão e acurácia. Ao final, os resultados foram comparados com o próprio programa empregado na análise (FAST), verificando uma proximidade e um baixo erro nas simulações, quando comparados com outros resultados da literatura. Com isto, o aprendizado de máquinas se mostra uma forte ferramenta e pode ser usada na obtenção dos esforços e carregamentos aerodinâmicos.

Palavras-chave: *machine learning*; aerogerador; carregamento aerodinâmico; Matlab.

INTRODUÇÃO

As turbinas eólicas são empregadas na obtenção de energia elétrica oriunda dos movimentos das pás (provocadas pela energia cinética dos ventos). Nas últimas décadas tem crescido bastante o potencial instalado, mostrando ser uma forte alternativa na complementação das demais formas de energia. No Brasil, os aerogeradores suprem a carência hídrica nos meses de baixos índices pluviométricos, enquanto que as velocidades médias do vento se mantêm constantes nestes períodos. Comumente são



estruturas esbeltas e altas, chegando a ultrapassar os 100 m de altura nos aerogeradores atuais.

As turbinas eólicas carecem de monitoramento contínuo, devido a suas manutenções preditiva e dados de geração. Além do comportamento mecânico, há também a necessidade de monitorar a resposta estrutural, principalmente com a criação de gêmeos digitais (*Digital Twins*) que são correspondentes computacionais da estrutura (Qiu, 2023), de forma a acompanhar a resposta esperada para tal excitação, e a partir disto, conseguir prever o comportamento de sua vida útil, manutenção preditiva e análise de fadiga.

Dentre as características da turbina, espera-se de maneira rápida e sem solucionadores numéricos a obter uma forma de mensurar os comportamentos estruturais a partir da velocidade do vento. A variável a ser analisada neste trabalho será o empuxo (Thrust), dado a sua importância frente as demais informações obtidas oriundas dela: Força no modelo estrutura, geração de potência, entre outros. Entretanto compreende-se que o modelo treinado servirá para qualquer outra variável: rotação da pá, momento na fundação, entre outros.

Desta o objetivo deste trabalho é criar um modelo numérico via aprendizado de máquina, que permita para um dado cenário de vento com velocidade $v(t)$, fornecer o empuxo no rotor.

CONHECIMENTOS PRELIMINARES DE MACHINE LEARNING

O aprendizado de máquinas (*Machine Learning*) é o termo usado para um segmento da inteligência artificial que utiliza dados para modelar e resolver problemas com o auxílio de computadores (Nilsson, 1996; Mitchell, 1997; Hand, Mannila e Smyth, 2001; Alpaydin, 2004). Machine learning comumente é aplicado a problemas de engenharia que demandem soluções numéricas uma vez que não se conhece a solução analítica e se conhece vários dados de ocorrência do fenômeno. Exemplifica-se um veículo que detém os dados de medição de velocidade, rotação do pneu, comprimento da suspensão, entre outras, pode-se mensurar a frequência e necessidade de manutenção pra uma determinada peça, aplicando assim o aprendizado de máquina à manutenção preditiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

Objetivando reproduzir os cenários da turbina eólica, inicialmente foram criados diversos casos de vento com duração de 60s cada um dos cenários. O vento foi criado a partir do programa TURBSIM (Jonkman, 2009). O vento detém característica aleatória de velocidade e direção. Este vento foi aplicado no aerogerador via programa FAST (Jonkman, 2009). Em seguida foi avaliada uma grandeza como referência para calibrar o modelo. Aqui foi adotado o Empuxo, que é a força horizontal atuante no hub (centro do rotor). Esta grandeza tem grande importância no cálculo estrutural e também na avaliação da potência de geração.

Com isto, foi realizado o treinamento do aprendizado de máquina, criando um modelo computacional capaz de reproduzir o aerogerador avaliado.

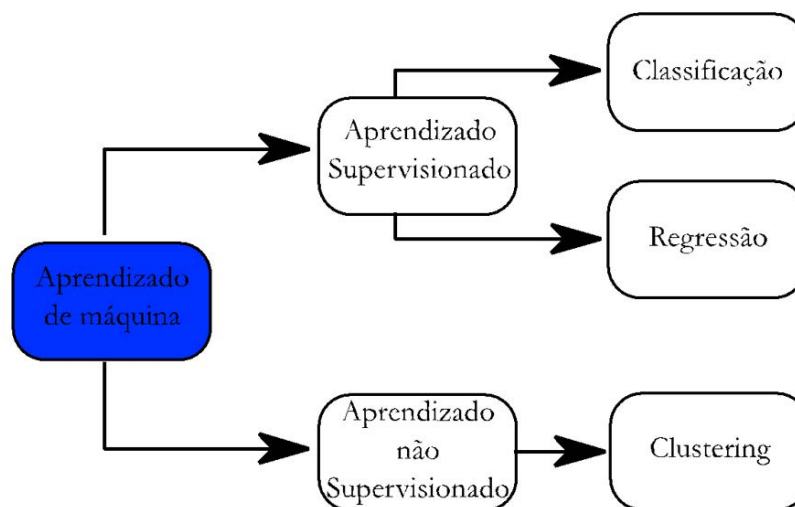
Após a etapa de treinamento, foi verificada a validade do código, simulando vários casos, mudando apenas a quantidade de pontos de velocidade, uma espécie de discretização espaço-temporal, onde para os 60 segundos, foi possível discretizar em 600 velocidades, tendo cada segundo (1 s), dados de 10 velocidades com intervalo de tempo de 0,1 s. Para outra discretização de 24.000 velocidades, cada segundo (1 s) terá dado de 400 velocidades, então o intervalo de tempo é de 0,0025 s.

Para comparar os resultados do machine learning, foi validado com resultados do próprio programa FAST, aplicando o vento no programa, e em seguida obtendo os parâmetros empuxo. Além disso, foi comparado com a relação apresentada no Kjørtaug (2013), que aqui neste trabalho é denominado de Fotografias, pois verificou que o autor utilizou a seguinte metodologia: Simula várias velocidades de operação do aerogerador: 3 m/s (partida - Cut in) a 25 m/s (parada - Cut out). Em seguida para cada velocidade, há um empuxo associado a esta e se obtém uma tabela de correlações. A partir de então, pode-se aplicar na velocidade do vento e traçar a curva de empuxo para o tempo analisado.

APRENDIZADO DE MÁQUINA

A ferramenta de aprendizado de máquina (*Machine Learning*), utiliza diversos métodos, dentre eles o supervisionado e o não supervisionado, o primeiro baseia-se na classificação e regressão, já o segundo através da clustering, conforme visto na Figura 01.

Figura 1 – Aprendizado de máquinas – *Machine learning*.



Para o estudo em questão, onde as variáveis guardam relação matemática, o método mais indicado é o de regressão, onde objetiva-se traçar uma curva entre as variáveis objetivando prever valores futuros sem a necessidade de novos cálculos e simulações. Desta forma a Figura 02 apresenta as etapas do aprendizado de máquina, onde inicia na seleção de dados, em seguida, escolhe-se o modelo, e depois há a etapa de treinamento deste modelo, em seguida há a criação do modelo, por fim, exporta-se este modelo.

Neste trabalho usou-se o software Matlab 2020a devido à possui aplicativos (app) que contém rotinas já implementadas para diferentes formulações:

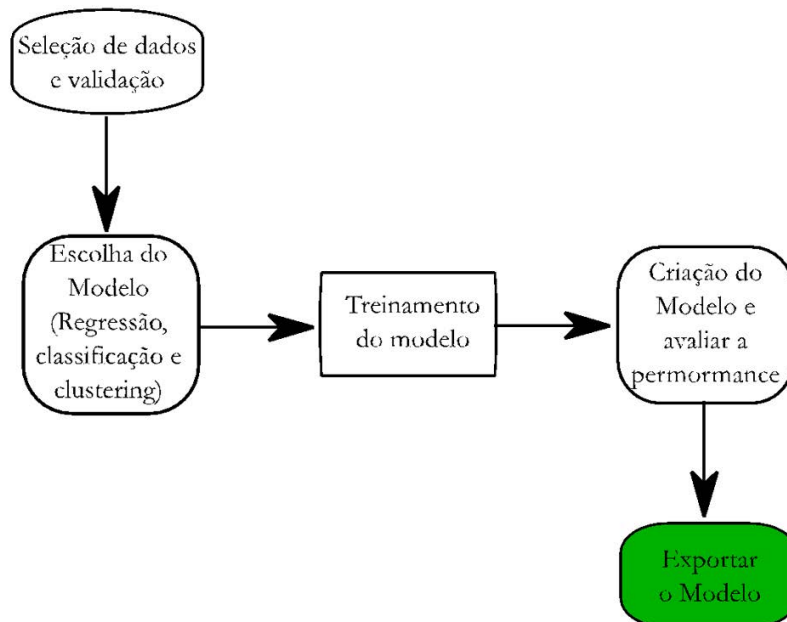
- Modelo de regressão linear;

- Árvores de regressão;
- Suporte a vetor de máquinas;
- Modelos Gaussianos;
- Árvore de conjuntos (ensemble Tree);

Após a verificação de todos os modelos, foi escolhido o modelo de regressão linear, devido à estabilidade do método e menor erro.

A etapa de aprendizado é comumente onerosa (computacionalmente), entretanto para este trabalho foi utilizado computador doméstico do tipo desktop. O computador utilizado foi um com processador i7-7700 3.2GHz com 32GB de memória RAM ddr4 com 1200MHz e HD de 1TB com SSD de 1TB e NVME de 480GB. As simulações foram conduzidas em processamento via CPU, sendo possível também a utilização via GPU, este computador em questão tem uma GPU Gtx 1050ti geforce de 4GB.

Figura 2 – Etapas do aprendizado de máquinas.



OBTENÇÃO DA CURVA EMPUXO X VELOCIDADE DO VENTO

Diversas simulações foram criadas para a geração do modelo em Machine Learning. O Quadro 1 apresenta as simulações realizadas para a geração de modelos. Em seguida, em todos os modelos obtidos, foram testados via outros ventos randômicos gerados via Fast, sendo comparado o empuxo obtido também neste software.

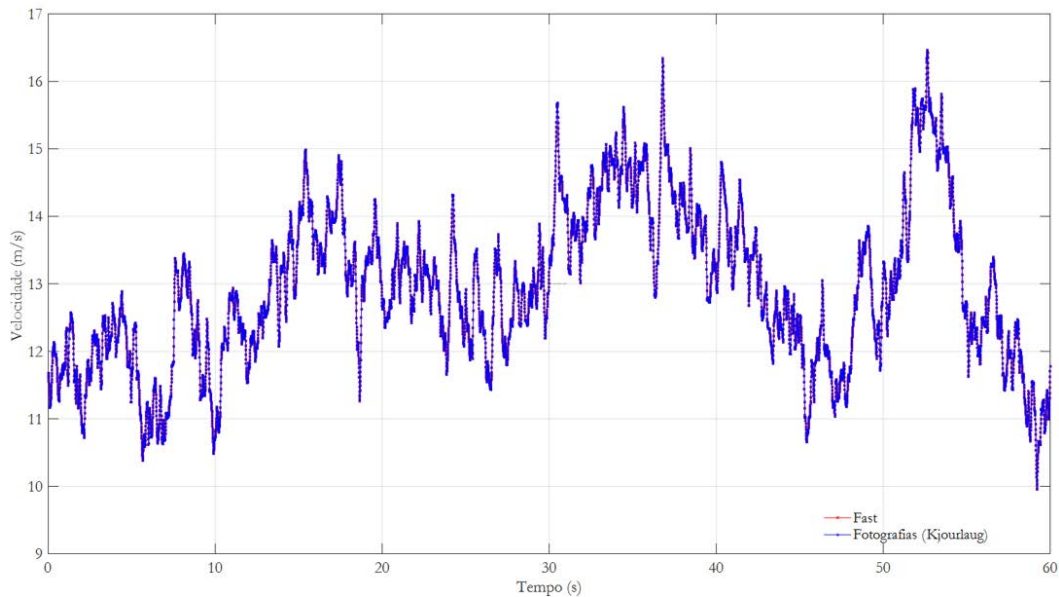
Quadro 1 – Modelos aplicados no Machine Learning.

Modelo	Números de pontos (velocidade) a serem treinados	Velocidade	Característica
ML 01	600	Aleatória	Vento gerado a partir do Turbsim
ML 02	24.000	Aleatória	Vento gerado a partir do Turbsim
ML 03	24.000	Aleatória	Vento gerado a partir do Turbsim
ML 04	88.000	3-25-3	Vento crescente e decrescente

O modelo ML 01 detém 600 pontos de velocidade, cuja característica é aleatória. O vento ML 02 e ML 03 também detém características aleatórias, que fazem com que ele seja diferente um do outro. Ambos gerados a partir do Turbsim. Já o caso ML 04, o vento foi considerado como 88.000 pontos, e a velocidade vai de 3 m/s a 25 m/s (crescente) e após atingir esta velocidade, decresce até 3 m/s. Este modelo ML 04 foi criado manualmente, com passo de tempo de 0,0068 s.

Para a validação foram criados ventos aleatórios, que não guardam relação com o vento usado na etapa de treinamento (Quadro 01). Dois ventos foram criados: VentoTest01 e VentoTest02. O vento é apresentado na Figura 3.

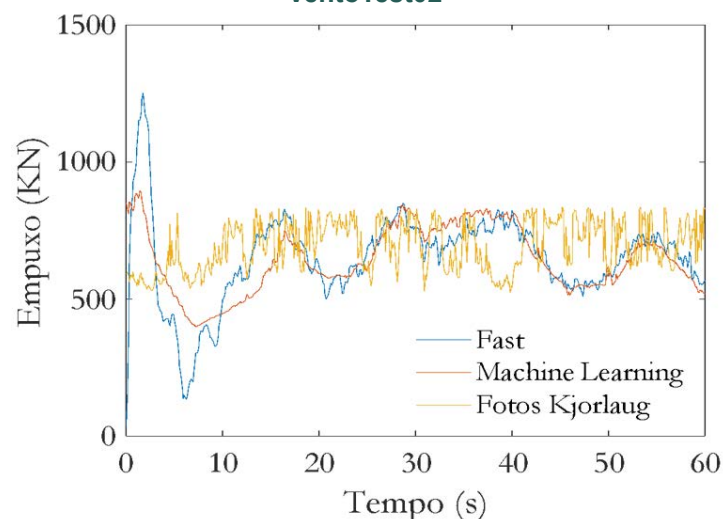
Figura 3 – Arquivo de entrada VentoTest02- Velocidade do vento (Fast x Fotografias)



Modelo ML 01

A seguir são apresentados os gráficos comparativos para o modelo 01, onde foi realizada a comparação com um vento (VentoTest02). A Fig. 04 apresenta os resultados para o Machine learning, programa Fast e também via método das fotografias (Kjorlaug, 2013).

Figura 4 – Curva Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjourlaug) ML01 – VentoTest02



Modelo ML 02

A seguir são apresentados os gráficos comparativos para o modelo 02, onde foi realizada a análise com ventos: VentoTest01 e VentoTest02. Os resultados foram divididos para melhor visualizar, onde as Figuras 05 verificaram o carregamento aerodinâmico VentoTest01, já a Fig. 06 foi aplicado o vento 06.

Figura 5 – Curva Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML02 – VentoTest01.

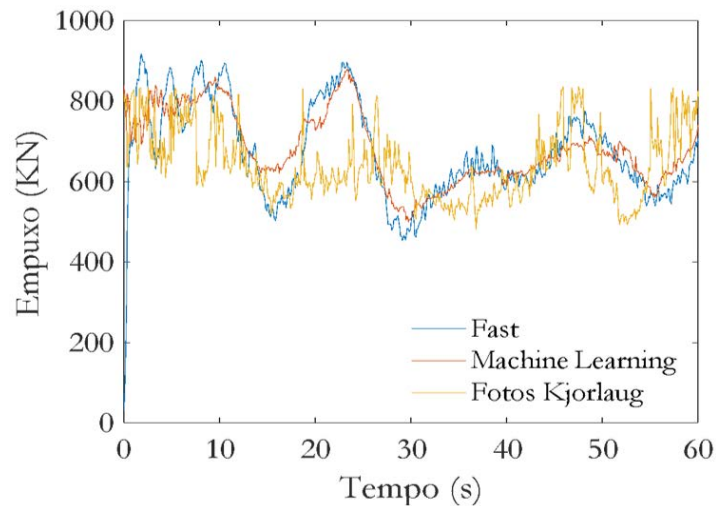
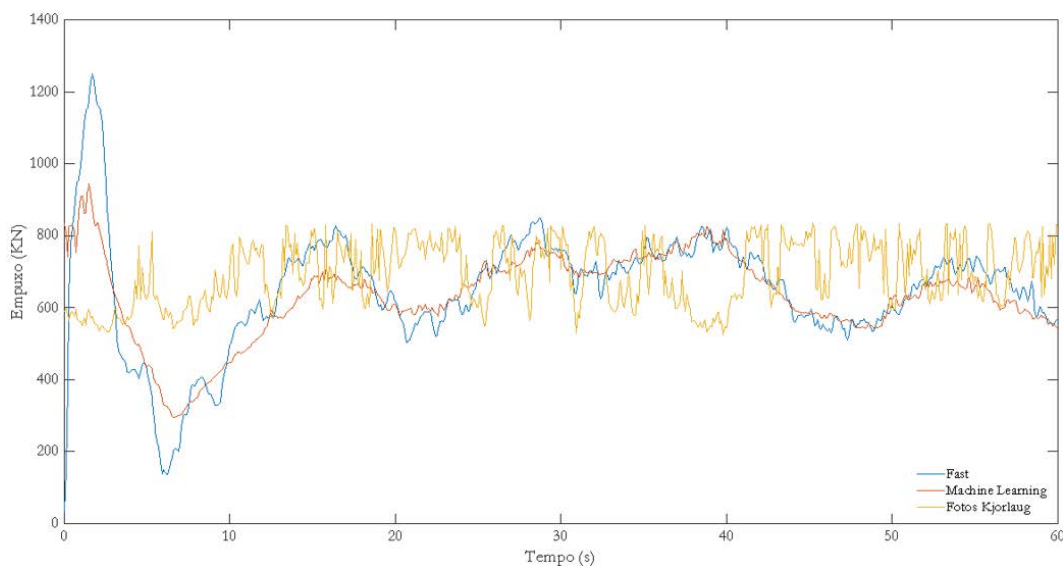
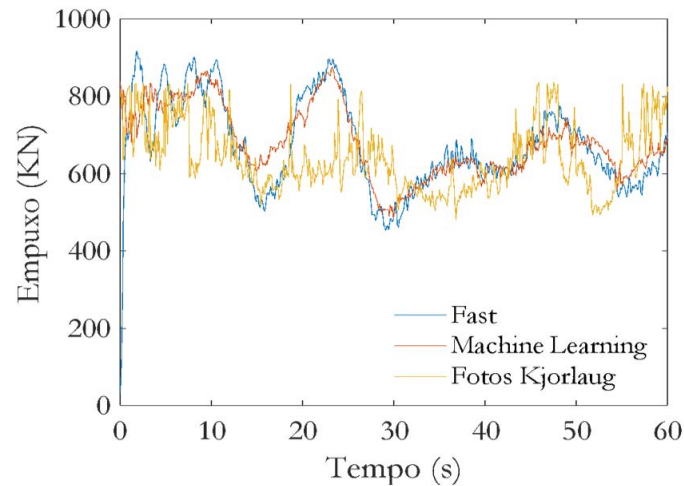
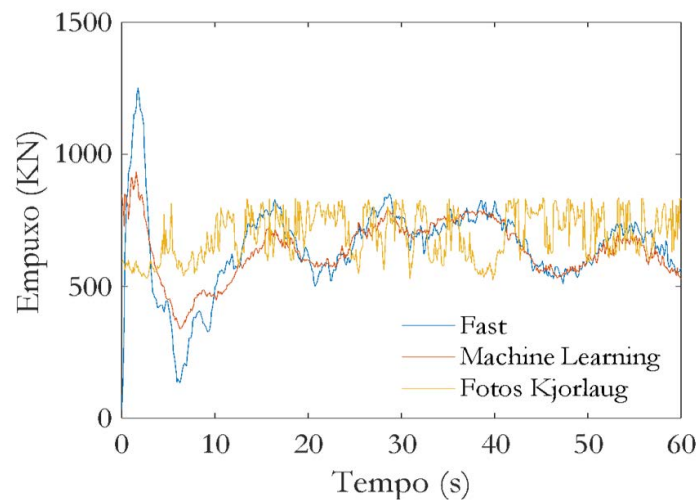


Figura 6 – Curva Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML02 – VentoTest02.



Modelo ML 03

A seguir são apresentadas as Figuras comparativas para o modelo 03, onde foi realizada a comparação com ventos: VentoTest01 e VentoTest02. Os resultados são apresentados através das Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML03 – VentoTest01.**Figura 8 – Curva Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML03 – VentoTest02.**

Modelo ML 04

A seguir são apresentados os gráficos comparativos para o modelo 04. Similar às demais análises, os resultados foram divididos para melhor visualizar, onde a Figura 09 apresenta o resultado para o vento 01, já a Fig. 10 aborda o vento 02. Todos para o modelo em Machine learning, Fast e Kjørlaug (2013).

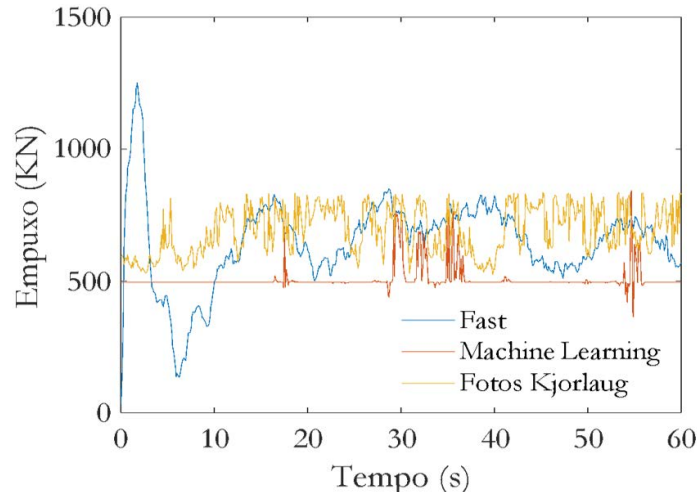
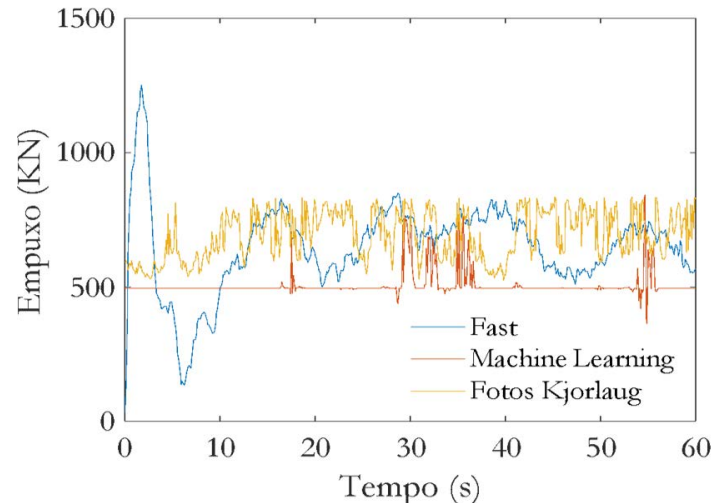
Figura 9 – Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML04 – VentoTest01.

Figura 10 – Curva Empuxo x Tempo (Fast, Machine Learning e Kjørlaug) ML04 – VentoTest02.

ESTIMATIVA DO ERRO

A partir das simulações realizadas foram plotados os erros, considerando como valor de referência, o empuxo do Fast. Estes valores foram tomados como referência para o VentoTest01.

A comparação entre o Machine learning e o método das fotografias (Kjørlaug, 2013) é apresentada através do Quadro 2.

Quadro 2 – Erro Machine Learning e Fotografias comparados ao Fast.

Modelo	Simulação	Erro (%)		
		Máximo	Médio	Mínimo
ML 01	Machine Learning	20,48	5,27	0,02
	Kjørlaug (Fotografias)	58,99	19,37	0,08
ML 02	Machine Learning	20,36	4,75	0,08
	Kjørlaug (Fotografias)	51,00	15,30	0,04
ML 03	Machine Learning	16,76	4,52	0,02
	Kjørlaug (Fotografias)	58,99	19,37	0,08
ML 04	Machine Learning	48,33	23,17	0,10
	Kjørlaug (Fotografias)	58,99	19,37	0,08

Verificou-se que o modelo ML 04 foi ruim, por ter apresentado um grande erro, e não deve ser usado para a estimativa do Empuxo. Compreende-se que este modelo não foi adequado pela variação da velocidade, e impossibilidade do algoritmo de aprendizado de máquina adotado (regressão linear) em reconhecer o comportamento da curva. Ou seja, ao sair da velocidade de 3 a 25m/s e em seguida retornar a 3m/s compreende-se que em dois instantes o aerogerador ultrapassa a velocidade de 5m/s, quando está crescente (3,4,5,6...) e depois quando está decrescente (7,6,5,4...) e com isto corresponde a diferentes empuxos, para a mesma velocidade. Uma forma de corrigir isto, é criando um código auxiliar que faça assim: Treinamento quando a velocidade é crescente (cria um modelo) em seguida, treina quando a velocidade é decrescente, se cria outro modelo. Ao rodar na turbina, faz uma leitura, se o aerogerador está acelerando ou desacelerando, e só então escolhe-se o modelo correto para aquele passo de tempo.

O modelo ML 01, apresentou resultados satisfatórios, com erro médio de 5,27%. O ML04 apresentou erros muito elevados e graficamente, verificou-se que a curva não representa o fenômeno.

Os modelos ML 02 e ML 03 representaram bem a curva Empuxo x tempo, com erro máximo de 4,75% (ML 04) e 4,52% (ML 03).

Sendo que vale a pena ressaltar a importância do ML 03 que considera os ventos nas direções x, y e z, guardando características mais realísticas do fenômeno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas, verificou-se que o método utilizado no aprendizado de máquinas foi eficiente e apresentou resultados satisfatórios com erros mínimos de 10^{-2} , e erro máximo de 20%.

Com este modelo, é possível aplicar em casos práticos da indústria para diversas funções, todas elas ligadas aos gêmeos digitais (Digital Twins):

- Monitoramento estrutural: Avaliar deslocamentos estruturais a partir da resposta dinâmica do vento.

- Manutenção preditiva: Substituição de componentes a partir de uma estimativa do vento para extrapolação de informação estrutural.

- Compreender os dados de geração de energia, a partir de informações do vento.

O aprendizado de máquinas se mostrou bastante promissor na obtenção de esforços aerodinâmicos em aerogeradores, sendo um forte candidato à implementação através de códigos computacionais no monitoramento estrutural.

Futuros códigos podem ser implementados para gerar modelos mais precisos e exatos, minimizando o erro.

Como trabalhos futuros aponta-se a necessidade de avaliar outras variáveis, como torque, força, momento, e rotação. Também é necessário avaliar outros modelos de aprendizado de máquina.

REFERÊNCIAS

ALPAYDIN, Ethem. **Introduction to machine learning (adaptive computation and machine learning series)**. 2004.

QIU, Hanqing *et al.* **Forest digital twin: A new tool for forest management practices based on Spatio-Temporal Data, 3D simulation Engine, and intelligent interactive environment**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 215, p. 108416, 2023.

JONKMAN, Bonnie J. **TurbSim user's guide: Version 1.50** (No. NREL/TP-500-46198). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2009.

HAND, David J.; MANNILA, Heikki; SMYTH, Padhraic. **Visualizing and exploring data**. 2001.

HAND, David J. **Principles of data mining**. Drug safety, v. 30, p. 621-622, 2007.

MITCHELL, Tom M. **Machine learning**. 1997.

NILSSON, Nils J. **Introduction to machine learning**: An early draft of a proposed textbook. pages 175-188. 1996.

KJØRLAUG, Remi André. **Seismic Response of Wind Turbines**: Dynamic Analysis of a Wind Turbine in Horizontal and Vertical Direction-Subject to Earthquake, Wind & SSI. 2013. Dissertação de Mestrado. Institutt for konstruksjonsteknikk.

Análise da influência do fator de rugosidade e do efeito de vizinhança e do efeito de vizinhança no cálculo da força do vento em um edifício baixo

Carlos Vitor da Silva Sarmento

Marcílio Matias da Silva Filho

João Ricardo Pereira da Silva

RESUMO

O crescimento da demanda nos centros urbanos impulsionou a verticalização das edificações, resultando em estruturas mais altas e esguias. As forças horizontais, especialmente provenientes do vento, desempenham um papel central. Essas forças, vinculadas à altura, geram cargas dinâmicas devido às variações na velocidade do vento e às mudanças nas linhas de corrente induzidas pela própria edificação. No Brasil, a norma NBR 6123/1988 regula as considerações sobre vento no dimensionamento estrutural, com foco predominante em edificações prismáticas. Para construções não convencionais, são necessários estudos especiais, incluindo o uso de túneis de vento. Este estudo contribui para a compreensão das ações do vento em estruturas, destacando a necessidade de análises abrangentes, especialmente para construções não convencionais. A pesquisa enfatiza a importância de adaptar as considerações de projeto aos desafios únicos impostos pelas condições variáveis do vento.

Palavras-chave: rugosidade; efeito de vizinhança; dinâmica dos fluidos computacional; simulação computacional; força do vento.

INTRODUÇÃO

O aumento da procura nos centros urbanos, reflete na verticalização das edificações. O avanço das técnicas construtivas impulsionou o surgimento de estruturas cada vez mais altas, resultando em edifícios mais esbeltos e flexíveis. O Burj Khalifa (828 metros) e o Shanghai Tower (632 metros) são exemplos notáveis da engenharia moderna, que utiliza técnicas e materiais especializados para tornar a execução dessas obras possíveis. Isso torna essencial a realização de estudos mais aprofundados das forças atuantes nas edificações.

As principais forças horizontais são oriundas do vento. Estas atuam



nas edificações e guardam relação com a altura. O vento resulta em cargas dinâmicas devido a variação da velocidade e são sujeitas as alterações das linhas de corrente causadas pela própria edificação, conforme corrobora Blessmann (1989). Wahrhaftig (2017) comenta que essa variação dos esforços vindo da ação do vento apresenta dificuldade quanto à análise da estrutura. Afirma-se com isso o quão importante é o conhecimento acerca das ações do vento em estruturas, percebe-se ao longo da história acidentes que ocorreram em detrimento de estruturas que não suportaram a ação do vento, um exemplo disto é a ponte de Tacoma Narrows no ano de 1940.

No Brasil, a norma que regula as considerações sobre vento no dimensionamento estrutural é a NBR 6123/1988 – Forças provenientes do vento em edificações. Essa norma estabelece as condições essenciais para o cálculo das forças estáticas e o cálculo das forças dinâmicas do vento atuantes nas edificações. No entanto, ela se concentra principalmente em edificações de forma prismática. No caso de construções com dimensões ou localizações atípicas, é necessário realizar estudos especiais com o uso de túneis de vento.

Nos últimos anos os trabalhos têm avaliado a influência do vento nas estruturas, quanto ao ângulo de incidência, carga, velocidade, método numérico empregado e análise do efeito de vizinhança. Silva (2021) aplicou método de otimização na estrutura baseado no carregamento horizontal. Deus (2022) utilizou o programa ANSYS, através do módulo fluido dinâmico, para avaliar o conforto humano em um edifício sujeito a diferentes cargas do vento. Oliveira Filho (2023) apresentou um comparativo dos deslocamentos e esforços usando modelos numéricos via Dinâmica dos fluidos computacional.

METODOLOGIA

Este estudo levou em consideração as recomendações existentes na NBR 6123/88 – Forças devidas ao vento em edificações. A velocidade média do vento produz na estrutura apenas efeitos estáticos, enquanto as oscilações mais importantes que ocorrem com maior frequência em estruturas mais esbeltas são causadas pelas flutuações ou rajadas. O presente trabalho foi desenvolvido com o auxílio do programa comercial TQS em sua versão 24.1 que utiliza para análise das forças do vento o método do vento dinâmico que consta na NBR 6123/88 e o método do vento sintético. Para obter o coeficiente de arrasto na estrutura com e sem o efeito de vizinhança foi utilizada a dinâmica dos fluidos computacional (CFD - Computational Fluid Dynamic) e também foi utilizado o método da análise de sensibilidade para determinar a influência da rugosidade (S2) nos esforços da estrutura.

REFERENCIAL TEÓRICO

Utilizando o método do vento dinâmico, a NBR 6123/88 sugere que sejam considerados os seguintes fatores: Velocidade Básica do vento, Fator Topográfico (S1), Rugosidade (S2), Dimensões da Edificação e Fator Estatístico (S3). A velocidade básica do vento (V_0) é obtida através do gráfico de isopletras que consta na NBR 6123/1988, para o objeto de estudo foi considerado a velocidade de 30 m/s. Já o Fator Topográfico (S1), leva em consideração o relevo e suas características sugerindo coeficientes que variam de acordo com a altura, diferença de nível e inclinação do terreno, (ABNT, 1988) . A consideração

da Rugosidade é dada através do Fator S2, Blessmann (1989) considera que o fator S2 é uma combinação entre a rugosidade, velocidade do vento e dimensão da estrutura e é categorizado conforme Figura 1. No que diz respeito as Dimensões da Edificação, a NBR 6123 (ABNT, 1988, p.8) afirma que é necessário definir o tipo de edificação, para isso é imprescindível considerar as características estruturais, ela caracteriza a edificação de acordo com a maior dimensão. Por fim o Fator Estatístico (S3) é baseado no grau de segurança e na vida útil da estrutura analisada, conforme mostra a Tabela 3 da NBR 6123/88 (Figura 2).

Figura 1 – TQS- Aba para categoria de rugosidade.

Figura 1 mostra uma caixa de diálogo intitulada "Categoria de rugosidade" com um botão de fechar (X) no canto superior direito. O diálogo contém cinco opções de radio buttons, cada uma com uma descrição de terreno:

- I - Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão. Mar calmo, lagos, rios, pântanos sem vegetação.
- II - Terrenos abertos com poucos obstáculos. Árvores, edificações baixas, zonas costeiras, vegetação rala, pradaria.
- III - Terrenos planos ou ondulados, com obstáculos. Muros, árvores, edificações baixas, fazendas, subúrbios com casas baixas.
- IV - Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados. Zona florestal, industrial, urbanizada, parques, subúrbios densos.
- V - Terrenos com obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, complexos industriais.

Na base da caixa de diálogo, há dois botões: "OK" e "Cancelar".

Fonte: Os autores.

Figura 2 – Tabela 03 da NBR 6123/88 – Valores mínimos do fator estatístico S3

Grupo	Descrição	S ₃
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte : NBR 6123 (1988, p.10)

Se faz necessário determinar a velocidade característica do vento (V_k) que é o produto da velocidade básica (V_0), do fator topográfico (S_1), do fator de rugosidade (S_2) e do fator estatístico (S_3). Além disso precisa-se calcular o coeficiente de arrasto, onde “a força de arrasto é a componente horizontal, na direção do vento, das forças exercidas pelo vento sobre o obstáculo” (Blessmann, 1978, p. 27). Em construções paralelepípedicas quando o vento incide em uma das fachadas a força de arrasto coincide com a resultante horizontal. O coeficiente de arrasto (C_a) é representado pela seguinte Equação 01, onde A é a área frontal, perpendicular à direção do vento, e q é a carga atuante.

$$C_a = \frac{F_a}{q \cdot A} \quad (1)$$

A NBR 6123 (ABNT, 1988, p.5) sugere que a força de arrasto (F_a) seja o produto do coeficiente de arrasto (C_a), da carga e da área frontal efetiva (A). O coeficiente de arrasto surge a partir da função do número de Reynolds (Re), das dimensões (L_1) e formas do corpo e da velocidade característica (V_k), resultando na Equação 2.

$$Re = 70.000 \cdot V_k \cdot L_1 \quad (2)$$

ESTADO DA ARTE

Os estudos das cargas do vento tem tido grandes avanços com o passar do tempo. Chávez (2006) apresentou a proposta de análise comparativa de dois métodos de análise estrutural, o método simplificado oriundo da norma NBR 6123/88 e o método do vento sintético. O estudo revela que o método do vento sintético se mostrou mais viável considerando o aspecto de conforto e economia. Vanin (2011) a partir de uma pesquisa experimental busca identificar os comportamentos dos edifícios altos com relação ao vento, procurando respostas para os deslocamentos longitudinais e transversais à direção do vento e também a torção. Bênia (2013) em seu estudo buscou apresentar as respostas estáticas e dinâmicas com relação aos seus deslocamentos, para isso utilizou-se dezoito configurações diferentes, alterando as alturas e as distâncias dos edifícios vizinhos e fez-se o comparativo. Ela observou que as maiores respostas torcionais média foram obtidas quando os edifícios vizinhos estavam mais afastados, já a resposta torcional flutuante foi menor quando os prédios vizinhos estavam mais próximos. Tapajós *et al.* (2016) avaliou os impactos do vento no que tange o dimensionamento em concreto armado, utilizando como proposta a diferença de altura de um mesmo edifício, buscando compreender os esforços que atuam nos pilares e nas fundações do edifício para cada tipo de situação. Ele observou que mesmo em um edifício com apenas dez pavimentos os deslocamentos horizontais mostrou elevados e expressivos aumentos no efeito de 2º ordem podendo causar danos estruturais. A técnica mais eficaz na determinação das ações do vento é a modelagem aerodinâmica em túnel de vento, conforme corrobora Loredou-Souza *et al.* (2020) ele continua dizendo que o túnel de vento é uma ferramenta poderosa para diminuir os impactos que as forças do vento causam na estrutura, Ele apresenta diferentes edifícios que foram submetidos ao túnel de vento demonstrando resultados, métodos e aplicações na estrutura real.

ANÁLISE DO EDIFÍCIO CAZÉ

A praia de Boa viagem teve um crescimento vertical no último século, verificando que em 1930 poucas edificações ocupavam os 7,50km, enquanto que nos dias atuais essa verticalização cria um obstáculos para as edificações situadas nas ruas mais afastadas (Crescimento ilustrado através da Figura 3). O edifício Cazé localizado na Rua Setúbal, Boa viagem – Recife / PE, foi construído no ano de 1976, possui sete pavimentos e 1.856,52 metros de área construída, por conta de sua localização ser muito próxima à praia de boa viagem e do fato que o edifício foi construído nos anos 70, onde a situação de vizinhança

era completamente oposta do ano de 2023, faz com que o estudo utilizando essa edificação se torne ainda mais interessante.

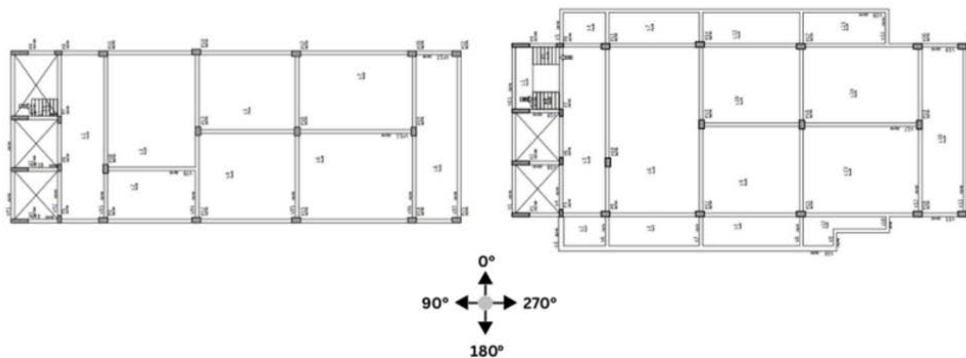
Figura 3 – Boa Viagem 1930 e atual.



Fonte: G1 (2021) e Pulquério (2023)

Para o estudo foi considerado um edifício com o formato e as dimensões do edifício Cazé, porém com uma simplificação quanto à altura da edificação, devido à limitação do programa TQS na versão estudantil, foi adotado que o prédio tem apenas cinco pavimentos, sendo térreo e mais quatro, restringindo a 15 m de altura, nesta configuração o somatório das cargas permanentes e acidentais totaliza aproximadamente 1.869 Tf. O edifício foi submetido a quatro ângulos de ataque do vento: 0° , 90° , 180° e 270° , à frente da edificação se encontra na angulação de 270° , como demonstrada na Figura 04.

Figura 4 – Plantas baixas: Térreo (Esquerda) e Pavimento tipo (Direita).



Fonte: Os autores.

RESULTADOS

Neste trabalho foram realizados estudos da influência da rugosidade e do efeito de vizinhança em um edifício de 15 metros de altura, a partir dos 7 casos estudados, desta forma os resultados e as considerações destes estão dispostos a seguir.

Verificação da rugosidade da superfície

Foram criados cinco casos para permitir avaliar a influência do fator de rugosidade na estrutura, tanto em aspectos de desaprumo global considerando as forças laterais que o vento produz, quanto no dimensionamento do edifício, segue abaixo o que foi considerado nos cinco primeiros casos:

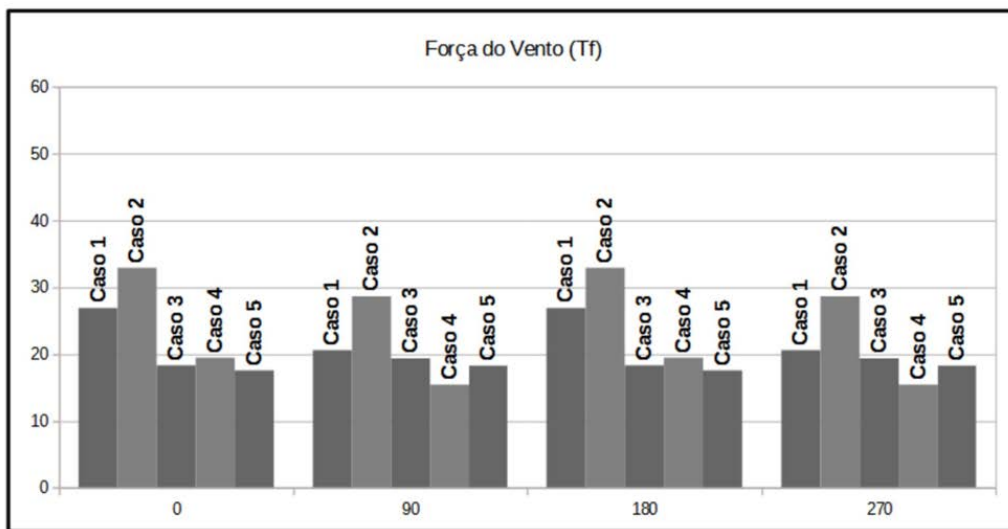
Tabela 1- Fatores S1, S2 e S3 dos casos 1 a 5.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
S1	1	1	1	1	1
S2	I	II	III	IV	V
S3	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

Fonte: Os autores

Como demonstrado as alterações consideradas foram feitas apenas na categoria de rugosidade, resultando em carregamento do vento, consumo de aço, deslocamento no topo e entre pisos, conforme apresentado nas Figuras 5, 6, 7 e 8.

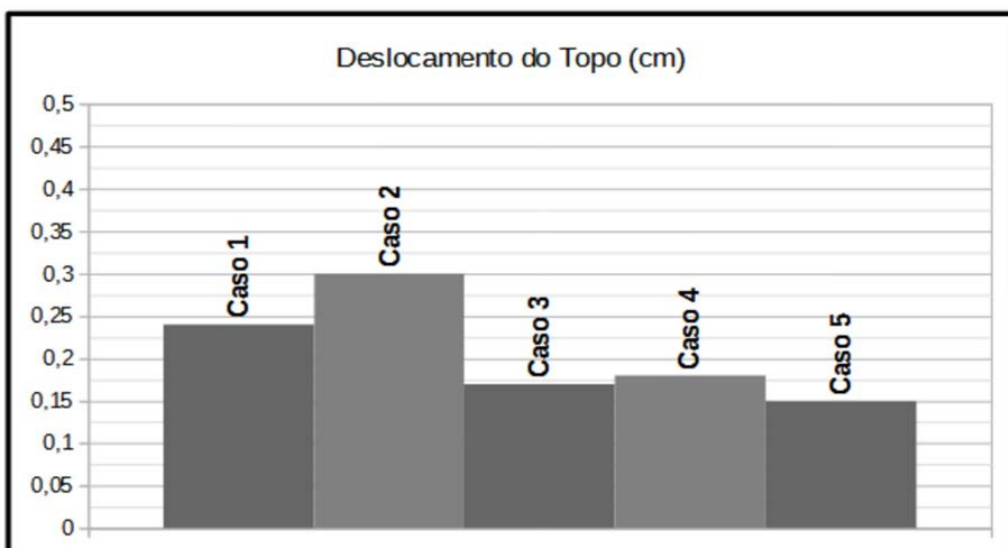
Figura 5 - Força do vento: Caso 1 ao 5 em diferentes ângulos de ataque.



Fonte: Os autores.

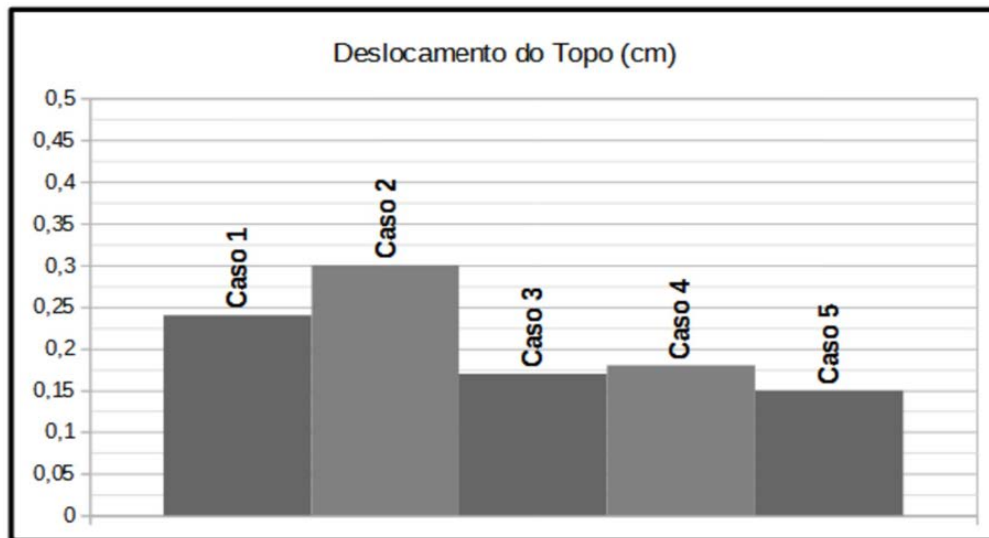
a) Percebe-se que o caso 2 teve números mais expressivos com relação a força do vento atuante na estrutura, resultando no aumento do deslocamento no topo e entre os pisos, refletindo no aumento da quantidade de aço em pilares e vigas para manter a estrutura estável.

Figura 6 - Consumo de aço: Caso 1 ao 5.



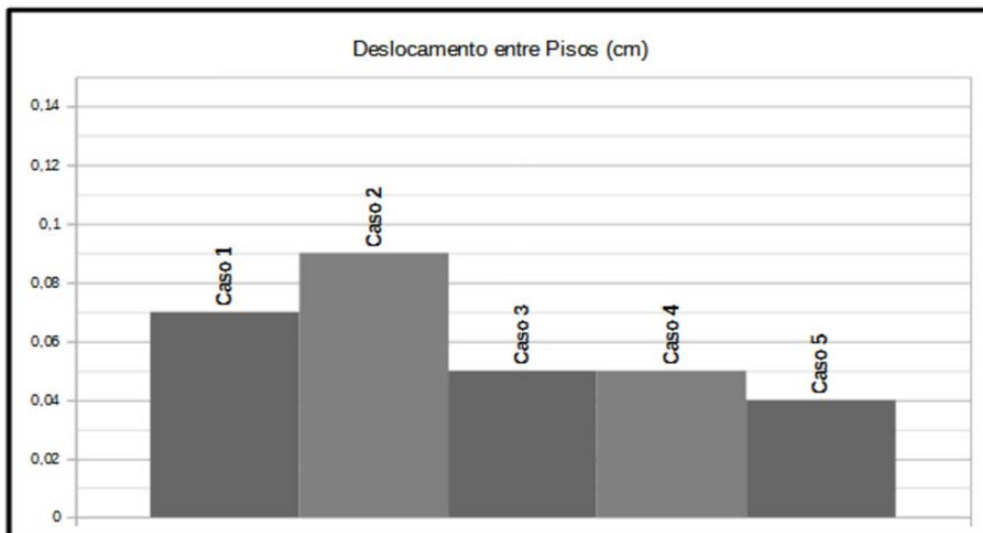
Fonte: Os autores.

Figura 7 - Deslocamento do topo: Caso 1 ao 5.



Fonte: Os autores.

Figura 8– Deslocamento entre pisos: Caso 1 ao 5.



Fonte: Os autores.

b) A figura 8 mostra que as forças do vento atuantes na estrutura foram maior no caso 2 do que os demais, segundo Blessmann (1989) a força do vento pode ser calculada a partir das forças parciais do vento (perfis escalonados) ou das pressões dinâmicas (perfil contínuo).

As pressões dinâmicas aumentam de acordo com a altura do terreno, porém ao chegar aos 80% da altura do edifício chega em seu ponto de estagnação, fazendo com que exista um fluxo descendente por conta do gradiente de pressão, e este fluxo gera um vórtice na base, gerando altas velocidades próximo ao solo. Em edifícios mais baixos, como é o caso do objeto de estudo, pode ocorrer uma majoração da velocidade devido a interação entre o vórtice e a esteira menor.

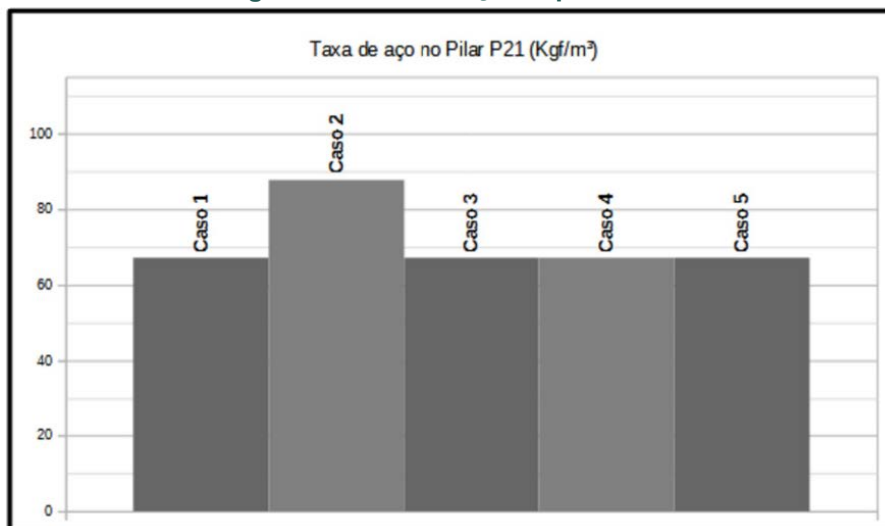
Para o caso 2 essa interação pode ter sido ainda maior causando a diferença de força atuante na estrutura, sendo necessário um estudo mais aprofundado em túnel de vento para melhor compreensão deste aumento.

c) A Figura 7 mostra que todos os casos estão dentro do limite normativo no que diz respeito a deslocamento. A NBR 6118/2023 mostra na tabela 13.2 os deslocamentos limites permitidos para edificação, para a estrutura avaliada a norma sugere um deslocamento máximo de $L/250$, ou seja, considerando o edifício com 15 metros de altura, temos que o deslocamento máximo é de 0,06.

d) O caso 3 e 4 obtiveram resultados bem próximos com relação ao consumo de aço e deslocamento do topo e entre pisos, possivelmente por conta da altura do edifício estudado que é de apenas 15 metros, fazendo com que a alteração do S2 não tivesse um impacto expressivo na estrutura.

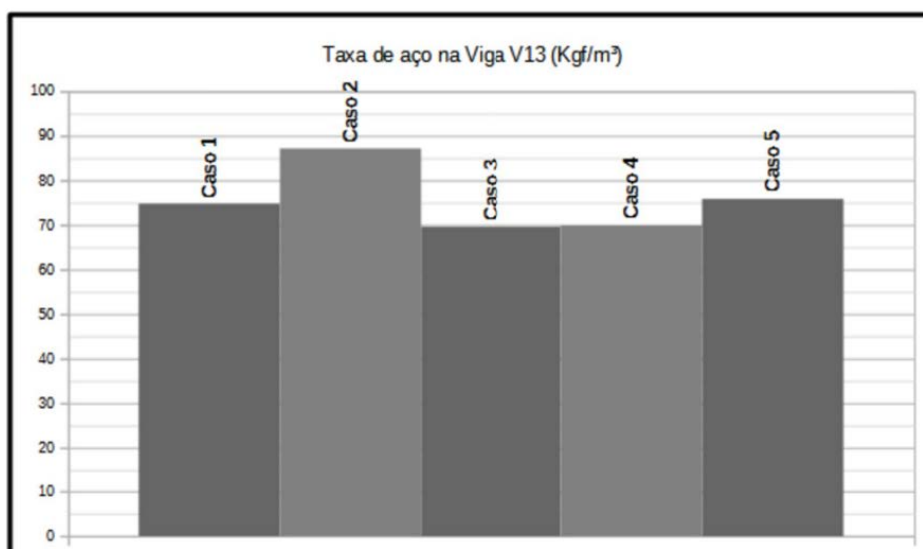
e) O aumento da taxa de aço teve sua maior diferença nos pilares e vigas que se encontram no ângulo de ataque 270° . A Figura 9 mostra que a taxa do Pilar P21 foi 30% maior do que os demais casos e conforme a Figura 10 a taxa de aço da viga V13 no 1º pavimento tipo foi aproximadamente 20% maior do que o caso 3 onde consta a menor taxa de aço.

Figura 9 – Taxa de aço no pilar P21.



Fonte: Os autores

Figura 10 - Taxa de aço na viga V13 (kgf/m³)

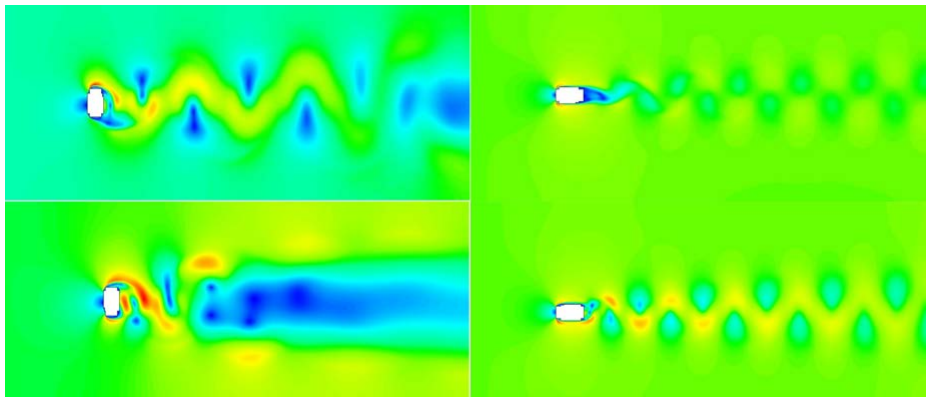


Fonte: Os autores

Verificação do efeito de vizinhança

A partir do caso 5 onde considera o fator de rugosidade na categoria 5, foram criados mais dois casos distintos com o auxílio do programa comercial Ansys versão R19.2 em seu módulo CFD para obtenção do coeficiente de arrasto com e sem vizinhança. Para o caso 6 foram considerados o arrasto sem a presença da vizinhança do edifício, conforme as linhas de corrente (Streamlines) da Figura 11.

Figura 11 - Estudo em CFD prédio Cazé, diferentes ângulos de ataque (0°, 90, 180° e 270°)



Fonte: Os autores.

Os resultados do coeficiente de arrasto no caso 6 estão apresentados na Tabela 02.

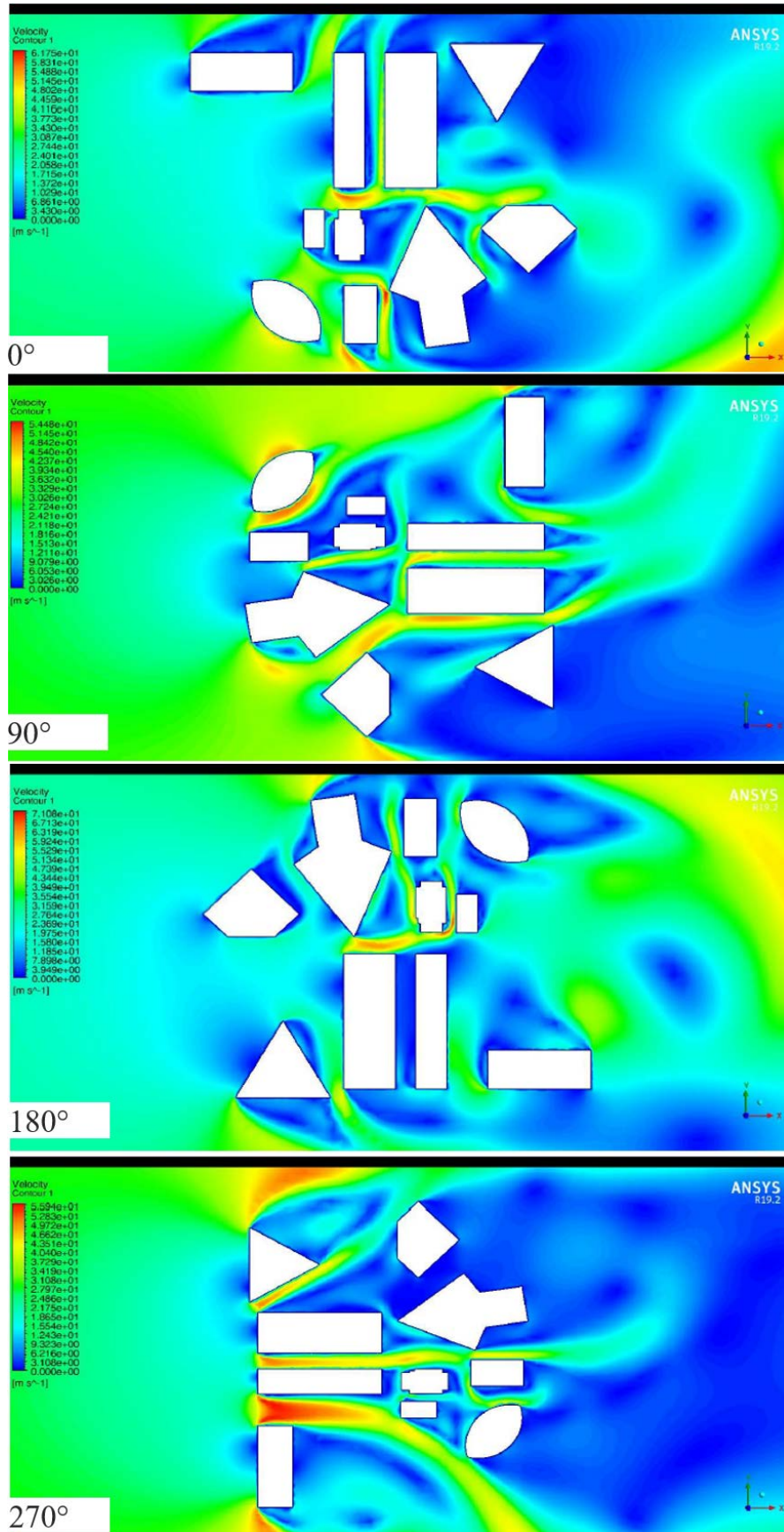
Tabela 2- Coeficiente de arrasto (Ca): Caso 6.

Ângulo de ataque	Coeficiente de arrasto
0	4,09
90	0,54
180	4,45
270	1,23

Fonte: Os autores

Para a obtenção do arrasto no caso 7 foi considerada a vizinhança do edifício estudado, a análise fluido dinâmica resultou em escoamentos representados através da Figura 12, cujo coeficiente de arrasto são apresentados através da Tabela 3.

Figura 12 - Estudo em CFD prédio Cazé considerando os efeitos de vizinhança, diferentes ângulos de ataque (0° , 90° , 180° e 270°)



Fonte: Os autores.

Tabela 3- Coeficiente de arrasto (Ca): Caso 7

Ângulo de ataque	Coeficiente de arrasto
0	0,062
90	0,110
180	1,790
270	0,246

Fonte: Os autores

a) Percebe-se uma grande diferença entre os modelos estudados devido à presença da vizinhança, o caso 6 apresenta coeficientes de arrasto mais expressivos nos ângulos de ataque 0°, 180° e 270°, isso se dá pelo fato de que sem vizinhança o vento atinge a estrutura em sua totalidade, não tendo empecilhos, já no caso 7, as edificações ao redor do edifício servem de barreira fazendo com que a força do vento e o coeficiente de arrasto sejam reduzidas.

b) No ângulo de ataque 90° em ambos os casos o vento escoar com facilidade devido ao formato da estrutura, tendo com isso uma pequena diferença no coeficiente de arrasto.

c) O resultado mais expressivo do caso 7 foi no ângulo de ataque 180°, analisando a Figura 12 percebe-se que devido ao formato e a posição das edificações circunvizinhas provoca ao vento um escoamento direcionado, responsável por concentrar toda a massa de ar, para o edifício Cazé, atuando nele perpendicular a direção do escoamento.

d) O ângulo de ataque 0° no caso 7 tem um resultado próximo ao zero devido a uma edificação que impede quase totalmente do vento chegar no objeto de análise, como mostra a Figura 12. Ficando o edifício de estudo (Cazé) situada à sombra aerodinâmica desta edificação, ficando em uma região sem desprendimento de vórtices e nem turbulência para a velocidade analisada. Sabendo que para escoamentos diferentes, novas análises são necessárias.

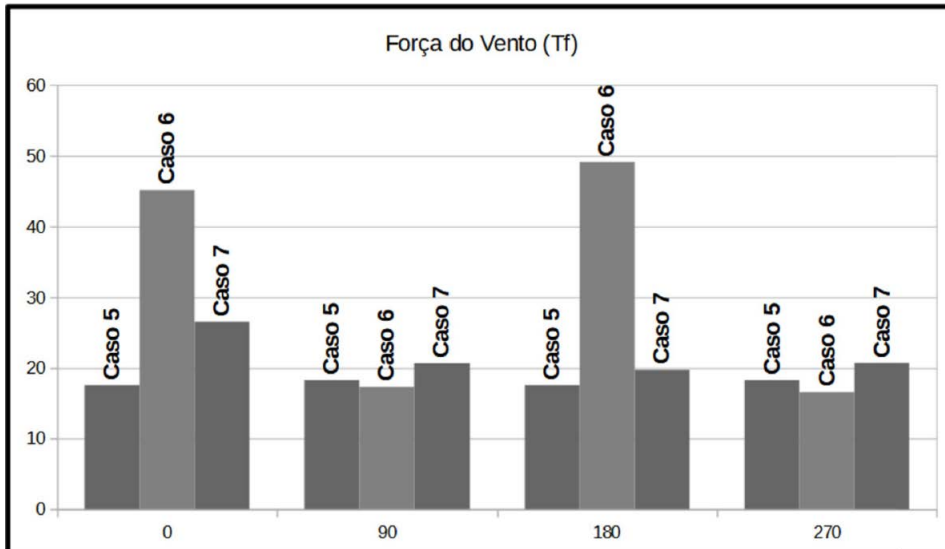
Para a análise das forças atuantes e do consumo de aço nos casos 6 e 7 o programa comercial TQS faz algumas compensações quando o efeito de desaprimento global é maior que o vento, ou seja, o TQS calcula automaticamente um coeficiente de arrasto adequado para que o vento atinja a mesma grandeza do desaprimento global. Destaca-se que este artifício é uma alternativa do programa a limitação dos critérios de gama z e p-delta, entretanto mostra que o programa não está reproduzindo o cenário real da edificação, que caso o fizesse, mostraria a instabilidade estrutural. Sendo assim, os coeficientes de arrasto do caso 6 e 7 foram modificados pelo programa, resultando em valores conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficiente de arrasto (Ca) adotados pelo TQS: Caso 6 e 7.

Ângulo de ataque	Coeficiente de arrasto Caso 6	Coeficiente de arrasto Caso 7
0	3,00	3,57
90	2,87	3,58
180	4,09	1,87
270	4,45	1,79

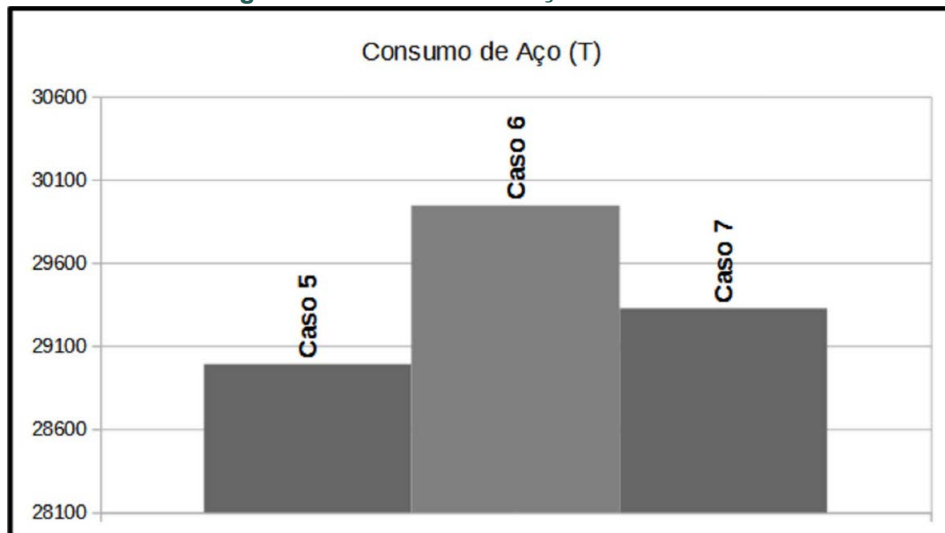
Fonte: Os autores

Figura 13 – Força do vento: Caso 5 ao 7 em diferentes ângulos de ataque.



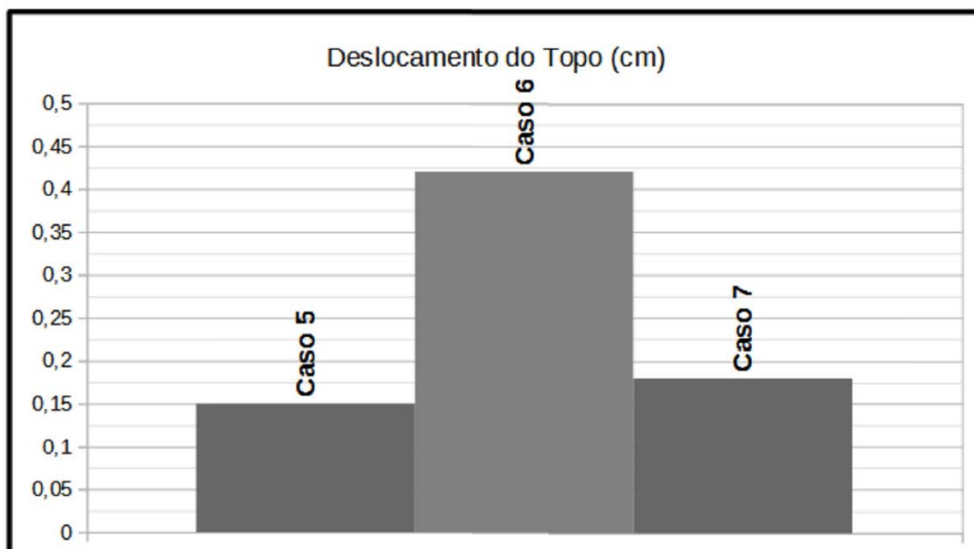
Fonte: Os autores

Figura 14 - Consumo de aço: Caso 5 ao 7.



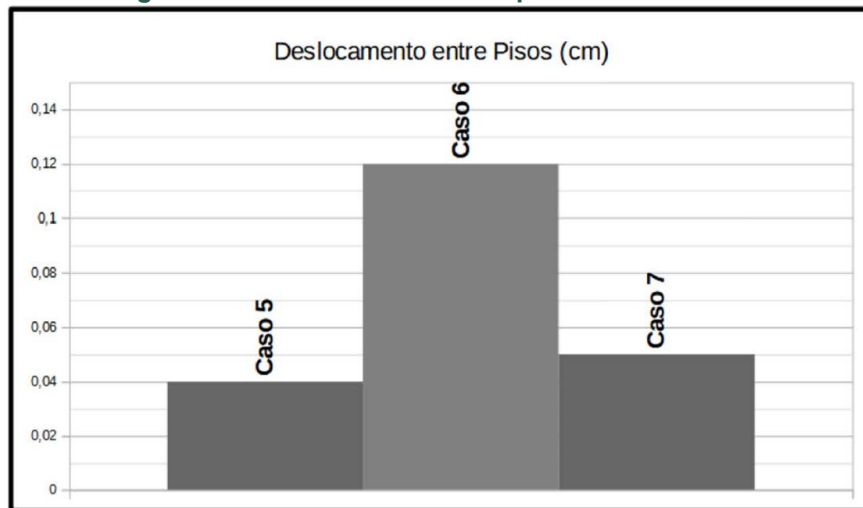
Fonte: Os autores.

Figura 15– Deslocamento do topo: Caso 5 ao 7.



Fonte: Os autores.

Figura 16– Deslocamento entre pisos: Caso 5 ao 7.



Fonte: Os autores.

e) Como esperado a força atuante do vento nos ângulos de ataque 0° e 180° foram bem expressivas no caso 6 em comparação com os casos 5 e 7, isso ocasionou um aumento no consumo de aço e no deslocamento do topo.

f) Percebe-se a importância da consideração do efeito de vizinhança no estudo de vento para eventuais diminuições de custos, a Figura 14 mostra uma diminuição de aproximadamente 650 toneladas aço no caso 07 em comparação ao caso 06.

g) A Figura 15 e Figura 16 mostram que mesmo com elevados coeficientes de arrasto e forças do vento o deslocamento está dentro do limite normativo estabelecido pela NBR 6118/2023. Possivelmente pelo fato de o edifício ser relativamente baixo o deslocamento não alcança valores mais expressivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado alcançou os objetivos ao analisar a influência da rugosidade superficial à luz da NBR 6123/1988 e também os efeitos de vizinhança no escoamento de um edifício situado na cidade do Recife.

A edificação sujeita a uma rugosidade (Fator S2) de classe II apresentou maiores esforços do vento, e como já se era esperado, conseqüentemente, maiores consumos de aço, e refletindo em maiores deslocamentos estruturais. Ao avaliar a edificação isoladamente, maiores coeficientes de arrasto foram obtidos, ficando os ângulos de ataque de 0° e 180° aqueles menos aerodinâmicos, causando arrastos de 4,09 e 4,45 respectivamente. Ao avaliar os efeitos de vizinhança, os prédios no entorno da edificação diminuíram o carregamento aerodinâmico, atenuando o coeficiente de arrasto em todos os ângulos de ataque. Essa diminuição foi de 98,5%, 79,63%, 82,2% e 80% para os ângulos de 0° , 90° , 180° e 270° , respectivamente. O maior arrasto ao considerar o efeito de vizinhança foi para o ângulo de 180° , obtendo o valor de 1,79.

Conclui-se que para estruturas de alturas moderadas o estudo das forças do vento levando em consideração a vizinhança tem singular importância para o cálculo. Tendo em

vista otimizar o design estrutural, garantindo eficiência e economia sem comprometer a segurança.

Recomenda-se futuras pesquisas considerando não apenas a estabilidade estrutural, mas também os aspectos relacionados ao conforto humano. O impacto das forças do vento na percepção e conforto dos ocupantes pode ser significativo, especialmente em estruturas mais altas. Portanto, sugere-se que estudos futuros incorporem análises de conforto ambiental, levando em consideração aspectos como vibração induzida pelo vento e flutuações de pressão, visando a otimização não apenas da segurança, mas também do bem-estar dos usuários da edificação. Essa abordagem holística contribuirá para a evolução do conhecimento na área e para a concepção de estruturas que atendam não apenas aos requisitos técnicos, mas também aos padrões de conforto e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO Brasileira de normas técnicas. **NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de normas técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

BÊNIA, M. C. D. **Determinação dos efeitos de vizinhança na resposta dinâmica de edifícios altos sob a ação do vento**. 2013. Dissertação (Mestrado Em Engenharia) - Ufrgs, [S. L.], 2013.

BLESSMANN, J. **Efeitos do vento em edifícios e cúpulas**. 1978.

BLESSMANN, J. **Ação do Vento em Edifícios**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1989.

DEUS, L. A. **Análise de vibrações e avaliação do conforto humano de edifícios submetidos a cargas de vento via utilização de técnicas de CFD e bases de dados aerodinâmicos com testes em túnel de vento**. 2022. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

G1, Globo. **“Avanço Do Mar No Recife: Veja Antes E Depois Da Praia de Boa Viagem, Com Fotos Do Século Passado.”** G1, 14 Oct. 2021, g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/10/14/avanco-do-mar-no-recife-veja-antes-e-depois-da-praia-de-boa-viagem-com-fotos-do-seculo-passado.ghtml.

LOREDO-SOUZA, A. M. *et al.* **Modelagem de edifícios altos em túnel de vento**. *Concreto e Construções*, v. 99, p. 48-63, 2020.

PULQUÉRIO, S. **Praia de Boa Viagem**. Disponível em <<https://www2.recife.pe.gov.br/servico/praiadeboaviagem?op=NTMwNA==>>. Acesso em 22/11/2023.

OLIVEIRA FILHO, C. E. A. **Comparação de ações dinâmicas devidas ao vento em edifícios com diferentes modelos numéricos**. *Revista Tecnológica*, v. 31, p. 94-111, 2022.

RODRIGUES, A. S. *et al.* **Efeitos não-lineares ligados à queda da ponte de tacoma narrows**. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE*, v. 4, n. 1, p. 35-35, 2017.

SILVA, L. J. **Otimização topológica de edifícios considerando a influência das cargas de vento**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

TAPAJÓS, Luamim Sales *et al.* **Efeito do vento no dimensionamento de edifícios de concreto armado.** Revista IBRACON de estruturas e materiais, v. 9, p. 883-910, 2016.

WAHRHAFTIG, A. de M. **Ação do vento segundo a NBR 6123/88,** p. 163 -184. In: *Ação do Vento.* São Paulo: Blucher, 2017.

Avaliação objetiva do pavimento da rodovia BR-364/RO

Alex Gomes Pereira

Centro Universitário São Lucas

João Henrique Lacerda Melo Lima

Centro Universitário São Lucas

RESUMO

As rodovias federais são utilizadas em todo o Brasil para melhorar a operação do sistema de transporte de pessoas e mercadorias. Todavia, o revestimento asfáltico se degrada com o passar do tempo, devido principalmente ao tráfego pesado de veículos e às condições climáticas. Assim, com o passar do tempo, surgem manifestações patológicas de vários tipos que impactam negativamente nas condições de rolamento da via. Partindo-se deste entendimento, o presente trabalho busca avaliar a condição da rodovia BR-364 (Rodovia Marechal Rondon), trecho localizado no estado de Rondônia (RO), entre o km 799 (localidade de Jaci-Paraná, distrito do município de Porto Velho/RO) e o km 937,6 (localidade de Abunã, distrito do município de Porto Velho/RO). Para tanto, foi necessário obter informações por meio de levantamentos de campo, como: avaliação objetiva da condição do pavimento por meio do Índice Gravidade Global (IGG) e Deflexão.

Palavras-chave: pavimentos; IGG; restauração.

ABSTRACT

Federal highways are used throughout Brazil to improve the operation of the people and goods transport system. However, the asphalt coating degrades over time, mainly due to heavy vehicle traffic and weather conditions. Thus, over time, pathological manifestations of various types emerge that negatively impact the road's running conditions. Based on this understanding, the present work seeks to evaluate the condition of the BR-364 highway (Rodovia Marechal Rondon), a stretch located in the state of Rondônia (RO), between km 799 (locality of Jaci-Paraná, district of the municipality of Porto Velho/RO) and km 937.6 (locality of Abunã, district of the municipality of Porto Velho/RO). To this end, it was necessary to obtain information through field surveys, such as: objective assessment of the condition of the pavement using the Global Gravity Index (IGG) and Deflection.

Keywords: floors; IGG; restoration.



INTRODUÇÃO

Para Senço (2001) o pavimento é uma estrutura formada por várias camadas de espessuras finitas que é construída após a terraplenagem e preparada, técnica e economicamente para suportar e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los de forma atenuada para o subleito. Ainda segundo Senço (2001), a estrutura do pavimento também consiste em aperfeiçoar as condições de rolamento quanto à comodidade e estabilidade, aguentar os esforços horizontais (desgaste), tornando a superfície de rolamento mais durável.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2006), o pavimento é uma superestrutura constituída sob camadas de materiais nobres com diversas características, formadas por meio de serviços de terraplenagem.

Macedo (2013) expõe algumas funções técnicas do pavimento, como: resistir às cargas verticais e horizontais impostas pelos esforços gerados por meio do tráfego, recebendo a maior carga e transmitindo de forma atenuada para o subleito; e gerar conforto e segurança para o usuário.

Diante do exposto, o presente trabalho visa realizar um estudo da condição da rodovia BR-364, trecho localizado no estado de RO, entre o km 799 ao km 937,6.

REFERENCIAL TEÓRICO

Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis

No Brasil, emprega-se o IGG como meio de avaliação objetiva de pavimentos flexíveis e semirrígidos, cujo procedimento é normatizado pela DNIT (2003a). O IGG é um método de avaliação objetiva da superfície dos pavimentos rodoviários flexíveis ou semirrígidos, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes e da medida das deformações permanentes nas trilhas de roda (DNIT, 2003b).

Esse tipo de avaliação é usado quando se deseja um parâmetro que apresente as condições de superfície do pavimento e um inventário de ocorrências, além de funcionar como uma etapa preliminar para avaliação da necessidade de uma avaliação estrutural do pavimento.

Segundo Vieira *et al.* (2016) o IGG trata-se de uma avaliação baseada em índices que expressam o estado geral do pavimento de acordo com a ocorrência de defeitos que caracterizam o seu grau de degradação.

O resultado do IGG é um número que pode ser correlacionado ao conceito de degradação do pavimento, por meio de uma classificação definida pela Norma DNIT PRO 006 (DNIT, 2003b).

Manifestações patológicas em pavimentos asfálticos

Existem diversas manifestações patológicas em pavimentos asfálticos, sendo

diversas, também, suas causas. A norma TER 005 (DNIT, 2003a) apresenta alguns conceitos sobre os tipos e terminologia dos defeitos em pavimentos flexíveis e semirrígidos. A terminologia dos principais defeitos é apresentada nos itens seguintes, bem como imagens exemplificativas dessas manifestações encontradas no trecho avaliado.

- Fendas: Fissuras ou Trincas

Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se como fissuras ou trincas.

As fissuras são fendas de largura capilar existentes no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m. Já as trincas são fendas existentes no revestimento, facilmente visível a olho nu, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresenta extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa. Trinca longitudinal

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresenta extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa.

As trincas interligadas podem ser do tipo couro de jacaré ou blocos. A trinca tipo “couro de Jacaré” é um conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas. As trincas tipo “Bloco” são um conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

- Afundamentos

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. O afundamento plástico (Figura 1) é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. O afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento.

Figura 1 - Afundamento: a) afundamento de trilha de roda; e b) afundamento local



Fonte: DNIT (2003).

- Ondulação ou Corrugação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento, conforme é observado na Figura 2.

Figura 2 - Ondulação.



Fonte: DNIT (2003).

- Escorregamento

Deslocamento do revestimento (Figura 3) em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Figura 3 - Escorregamento.



Fonte: DNIT (2003).

- Exsudação

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento (Figura 4), causado pela migração do ligante por meio do revestimento.

Figura 4 - Exsudação.



Fonte: DNIT (2003).

- Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento (Figura 5), caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

Figura 5 - Desgaste.



Fonte: DNIT (2003).

- Panela ou buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas. A Figura 6 apresenta a manifestação patológica do tipo panela.

Figura 6 - Panela ou buraco.

Fonte: DNIT (2003).

- Remendo

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.

METODOLOGIA

Descrição da Rodovia

A rodovia BR-364, também denominada de Rodovia Marechal Rondon, é conhecida como uma das principais rodovias federais do centro-norte do Brasil, tendo cerca de 4.325 quilômetros de extensão total, o qual predominam trechos pavimentados de pista simples. Sendo caracterizada como uma rodovia diagonal, que se inicia no município de Limeira do estado de São Paulo (SP) e se estendendo até o município Mâncio Lima do estado do Acre (AC), divisa com o Peru, atravessando os estados de SP, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, RO e AC.

A rodovia BR-364 se caracteriza como uma importante via de escoamento de grãos das regiões Norte e Centro-Oeste do país, visto que interliga as regiões do país ao porto fluvial do município de Porto Velho/RO para o escoamento hidroviário pelo corredor Noroeste do rio Madeira, além de ser fundamental para circulação e do deslocamento de passageiros. Todavia, a BR-364 expressa a situação da malha rodoviária de inúmeras cidades do país, com vários locais ainda sem pavimentação, ou com pavimento deficiente.

Método de levantamento e cálculo do IGG

O método aplicado nesta avaliação objetiva seguiu o procedimento da norma PRO 006 (DNIT, 2003b). A primeira etapa da avaliação consistiu em um levantamento das patologias existentes, visando à obtenção de um cadastro acurado das ocorrências e frequências dos defeitos de cada estação inventariada. O levantamento foi realizado de forma fotográfica com uma câmera de linha de ação acoplada em veículo automotor que percorreu o trecho avaliado em velocidade constante.

O levantamento para a avaliação objetiva foi procedido ao nível da superfície do pavimento, em ambas as faixas de tráfego da pista de rolamento, com localização de cada estação a cada 20 m, alternando a faixa de tráfego. Desse modo, em uma mesma faixa de tráfego, o espaçamento entre as estações inventariadas é de 40m. Além disso, acrescenta-se que a superfície de avaliação correspondeu a 3m antes e 3m depois de cada uma das estacas demarcadas, totalizando em cada estação uma área correspondente a 6m de extensão e largura igual à da faixa avaliada.

Feito o levantamento, prosseguiu-se para o cadastro dos defeitos de cada estação. O cadastro utilizou-se de uma planilha similar ao Formulário de Inventário do estado da superfície do pavimento, fornecido pela norma PRO 006 (DNIT, 2003b).

Para cada tipo de defeito observado foram calculadas as frequências absolutas (f_a) e as frequências relativas (f_r) das ocorrências inventariadas. A referida norma define os seguintes tipos de defeitos:

Tipo 1 - Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR);

Tipo 2 – Trincas interligadas: FC-2 (J e TB);

Tipo 3 – Trincas interligadas: FC-3 (JE e TBE);

Tipo 4 – Afundamentos (ALP, ALC, ATP e ATC);

Tipo 5 – Ondulações, painelas e escorregamento (O, P e);

Tipo 6 – Exsudação (EX);

Tipo 7 – Desgaste (D); e

Tipo 8 – Remendo (R).

A frequência absoluta (f_a) corresponde ao número de vezes em que a ocorrência foi verificada. A frequência relativa (f_r) é obtida por meio da Equação 1.

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad (1)$$

Onde:

f_r - frequência relativa;

f_a - frequência absoluta; e

n - número de estações inventariadas.

Para cada uma das ocorrências inventariadas, foi calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela Equação 2.

$$IGG = f_r \times f_p \quad (2)$$

Onde:

f_r - frequência relativa;

fp - fator de ponderação, obtido de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Fator de ponderação por tipo de Defeitos.

Ocorrência Tipo	Terminologia de acordo com a norma DNIT 005/2003 - TER	fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	Trincas interligadas: FC-2 (J e TB)	0,5
3	Trincas interligadas: FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	Afundamentos (ALP, ALC, ATP e ATC)	0,9
5	Ondulações, painéis e escorregamento (O, P e)	1,0
6	Exsudação (EX)	0,5
7	Desgaste (D)	0,3
8	Remendo (R)	0,6

Fonte: DNIT PRO 006 (2003).

O IGG é obtido pela Equação 3.

$$IGG = \sum IGI \quad (3)$$

Por fim, a norma 006 (DNIT, 2003b), define níveis de conceito de degradação do pavimento a partir de uma correspondência com o resultado do IGG (Tabela 2).

Tabela 2 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Adaptado de DNIT PRO 006 (2003).

Método de segmentação dos resultados: segmentos homogêneos

A norma PRO 007 (DNIT, 2003c) define a forma que deve se dar o inventário das condições de superfície de avaliação para rede ou para execução de estudos e projetos.

A referida norma de regulamentação indica a divisão dos trechos em segmentos. Para isso, deve-se identificar os trechos do Plano Nacional de Viação (PNV) da malha a ser levantada e dividir cada trecho unitário do PNV em subtrechos homogêneos quanto à condição de superfície do pavimento. A escolha dos subtrechos homogêneos deve ser feita visualmente, sendo que o número de subtrechos, em um trecho unitário do PNV, pode variar de 1 a 9. A Tabela 3 mostra as informações dos PNVs analisados que correspondem ao trecho avaliado, os quais serviram de base para segmentação em trechos homogêneos.

Tabela 3 - Informações dos PNVs do trecho avaliado.

Código	Local de Início	Local de Fim	Km inicial	Km final	Extensão (Km)
364BRO1450	Ponte s/rio Jaci-Paraná	Início Pista Dupla (Nova Mutum)	799,00	816,90	17,90
364BRO1455	Início Pista Dupla (Nova Mutum)	Final Pista Dupla (Nova Mutum)	816,90	817,50	0,60
364BRO1460	Final Pista Dupla (Nova Mutum)	Início Trav. Ponte sobre o Rio Mutum-Paraná	817,50	876,50	59,00
364BRO1470	Início Trav. Ponte sobre o Rio Mutum-Paraná	Entr Br-425(A) (P/Guajará-Mirim)	876,50	910,90	34,40
364BRO1475	Entr Br-425(A) (p/Guajará-Mirim)	Entr Br-425(B) (Abunã) (Galpão EFNM)	910,90	929,00	18,10
364BRO1480	Entr Br-425(B) (Abunã) (Galpão EFNM)	Início Travessia Rio Madeira	929,00	937,60	8,60

Fonte: DNIT (2023).

Foram obtidos 21 (vinte e um) trechos homogêneos. Para sua obtenção, o trecho unitário do PNV foi subdividido em subtrechos, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Subtrechos homogêneos.

PNV	Segmento	Km inicial	Km final	Extensão (Km)
364BRO1450	Segmento 1	799,00	808,00	9,00
	Segmento 2	808,00	816,90	8,90
364BRO1455	Segmento Único	816,90	817,50	0,60
364BRO1460	Segmento 1	817,50	830,50	13,00
	Segmento 2	830,50	843,50	13,00
	Segmento 3	843,50	856,50	13,00
	Segmento 4	856,50	863,00	6,50
	Segmento 5	863,00	869,50	6,50
	Segmento 6	869,50	876,50	7,00
364BRO1470	Segmento 1	876,50	881,50	5,00
	Segmento 2	881,50	886,50	5,00
	Segmento 3	886,50	896,50	10,00
	Segmento 4	896,50	901,50	5,00
	Segmento 5	901,50	906,50	5,00
	Segmento 6	906,50	910,90	4,40
364BRO1475	Segmento 1	910,90	915,40	4,50
	Segmento 2	915,40	919,90	4,50
	Segmento 3	919,90	924,40	4,50
	Segmento 4	924,40	929,00	4,60
364BRO1480	Segmento 1	929,00	933,30	4,30
	Segmento 2	933,30	937,60	4,30

Fonte: Autores (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

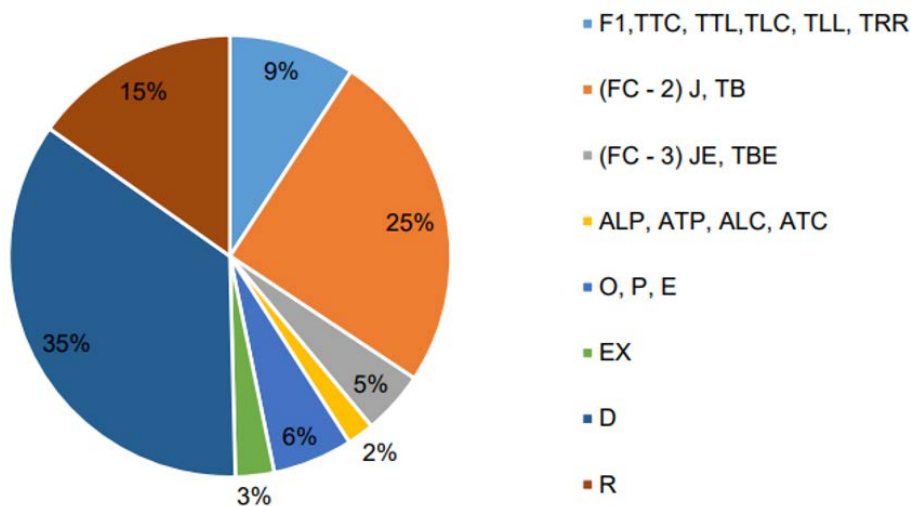
Trecho km 799,00 a km 937,60

Destaca-se que alguns trechos do pavimento levantado se encontravam em obras de restauração, o que impossibilitou seu levantamento acurado (trechos com pavimentos fresados ou com BGS, por exemplo). Nesses casos, as estações foram retiradas da avaliação.

Os defeitos mais frequentemente observados no pavimento avaliado foram o de desgaste e trincas Interligadas sem erosão, com aparição em 28,97% e 20,65%, respectivamente, do total das estações inventariadas. Por outro lado, os defeitos menos frequentes foram os afundamentos e a exsudação.

Para a melhor compreensão da frequência dos defeitos observados no pavimento foi elaborado o gráfico (Figura 7), que apresenta a distribuição de defeitos nas estações inventariadas que evidenciam manifestações patológicas.

Figura 7 - Frequência dos defeitos nas Estações com manifestações patológicas.



Fonte: Autores (2024).

A Tabela 5 apresenta o resumo do levantamento realizado, com os resultados de IGI por tipo de defeito e o conceito final de degradação médio do pavimento em função do IGG.

Tabela 5 - Cálculo do IGG.

Rodovia: BR-364							
Trecho: Jaci-Paraná => Abunã (Ponte Rio Madeira)				Estaca ou Km (Início)		Estaca ou Km (Final)	
Subtrecho: LE e LD (BR-364 Km 799,00 - Km 937,60)				0+0,0		138+600	
Revestimento Tipo: Asfáltico							
Item	Natureza do Defeito	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Considerada	Frequência Relativa (%)	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual	Observações
1	Trincas isoladas F1, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	726	483	7,60	0,20	1,52	
2	(FC - 2) J, TB	1324	1312	20,65	0,50	10,32	
3	(FC - 3) JE, TBE	243	243	3,82	0,80	3,06	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	103	-	1,62	0,90	1,46	
5	O, P, E	306	-	4,82	1,00	4,82	
6	EX	148	-	2,33	0,50	1,16	
7	D	1841	-	28,97	0,30	8,69	
8	R	795	-	12,51	0,60	7,51	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =		2,07	
		1,59	1,52	1,55			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	Fv =		3,45	Conceito:
		3,65	3,25	3,45			
Nº Total de Estações Inventariadas		6354	6354		IGG:	44,06	Regular

Fonte: Autores (2024).

De acordo com os conceitos de degradação do pavimento em função do IGG apresentados na Tabela 2, pode-se inferir que o pavimento se encontra em estado regular. Ainda assim, é necessário que o pavimento passe por restauração, dada a frequência elevada de desgastes e trincas interligadas. Além disso, percebe-se uma frequência considerável de remendos e painéis ao longo dos 138,6 km levantados.

Subtrechos homogêneos

A Tabela 6 mostra o resumo dos resultados da avaliação objetiva e do cálculo do IGG para os subtrechos homogêneos.

Tabela 6 - Resultados da avaliação objetivas por trechos homogêneos.

PNV	Segmento Homogêneo	Km inicial	Km final	IGG	Conceito
364BRO1450	Segmento 1	799,00	808,00	52,84	Regular
	Segmento 2	808,00	816,90	37,52	Bom
364BRO1455	Segmento 3	816,90	817,50	50,77	Regular

PNV	Segmento Homogêneo	Km inicial	Km final	IGG	Conceito
364BRO1460	Segmento 4	817,50	830,50	63,13	Regular
	Segmento 5	830,50	843,50	51,83	Regular
	Segmento 6	843,50	856,50	16,49	Ótimo
	Segmento 7	856,50	863,00	72,85	Regular
	Segmento 8	863,00	869,50	15,66	Ótimo
	Segmento 9	869,50	876,50	3,69	Ótimo
364BRO1470	Segmento 10	876,50	881,50	8,82	Ótimo
	Segmento 11	881,50	886,50	37,79	Bom
	Segmento 12	886,50	896,50	51,21	Regular
	Segmento 13	896,50	901,50	30,05	Bom
	Segmento 14	901,50	906,50	11,69	Ótimo
	Segmento 15	906,50	910,90	44,91	Regular
364BRO1475	Segmento 16	910,90	915,40	34,67	Bom
	Segmento 17	915,40	919,90	92,05	Ruim
	Segmento 18	919,90	924,40	54,00	Regular
	Segmento 19	924,40	929,00	37,18	Bom
364BRO1480	Segmento 20	929,00	933,30	100,24	Ruim
	Segmento 21	933,30	937,60	55,98	Regular

Fonte: Autores (2024).

A Tabela 7 resume a classificação de degradação dos subtrechos homogêneos de acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.

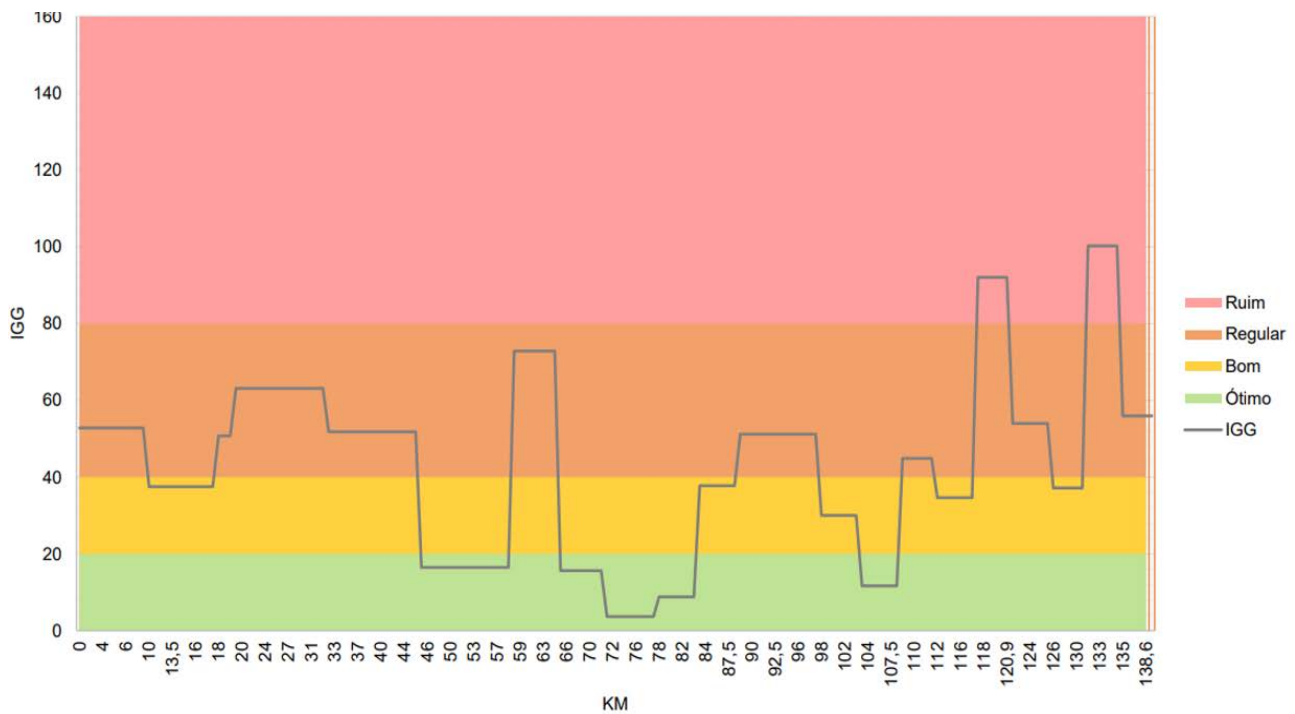
Tabela 7 - Resumo de classificação do conceito de degradação dos subtrechos homogêneos.

Conceito	Quantidade de segmentos	Percentual
Ótimo	5	23,81%
Bom	5	23,81%
Regular	9	42,86%
Ruim	2	9,52%
Péssimo	0	0,00%

Fonte: Autores (2024).

Observa-se que 42,86% dos segmentos são classificados como “Regular”. Para melhor compreensão dos resultados, a Figura 8 ilustra o resultado da avaliação objetiva ao longo da extensão do trecho avaliado.

Figura 8 - Resultado da avaliação objetiva ao longo da extensão do trecho.



Fonte: Autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa objetivou avaliar a condição da rodovia BR-364, trecho localizado no estado de RO, entre o km 799,00 ao km 937,60 (localidade de Abunã, distrito do município de Porto Velho/RO). Para isso, foi utilizada avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis usado no Brasil, IGG e Deflexão. Como resultado, pode-se observar os seguintes resultados:

A aplicação do método da norma PRO 006 (DNIT, 2003b) no trecho avaliado da BR-364/RO mostrou-se efetiva. O método relata de forma simplificada a condição funcional do pavimento, sendo relevante para um adequado projeto de restauração de um pavimento asfáltico.

O levantamento e a avaliação objetiva foram realizados entre o Km 799,00 (localidade de Jaci-Paraná) e o Km 937,60 (localidade de Abunã), totalizando, assim, um trecho de 138,60 km de extensão. O conceito final médio de degradação definido para o pavimento avaliado é de “Regular”. Entretanto, há trechos avaliados com outros conceitos, variando de “Ótimo” a “Ruim”.

REFERÊNCIAS

DEPARTAMENTO nacional de infraestrutura de transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. NORMA DNIT 005/2003 - TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO nacional de infraestrutura de transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. NORMA DNIT 006/2003 - PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO nacional de infraestrutura de TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. NORMA DNIT 006/2003 - PRO. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO nacional de infraestrutura de transportes (DNIT). **Plano Nacional de Viação e Sistema Nacional de Viação**. SNV Versão atual. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/atlas-e-mapas/pnv-e-snv>. Acesso em: 27 de jan. de 2023.

VIEIRA, S. A.; PINHO JR, A.A.E.; OLIVEIRA, F.H.L.; AGUIAR, M.F.P. Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI. **Revista Conexões, Ciência e Tecnologia**, 10, n. 3, p. 20-30, 2016.

Manutenção por meio de tecnologias da indústria 4.0: revisão da literatura

Maintenance through industry 4.0 Technologies: literature review

Emerson Rodrigues Prazeres
Eric Elian Lima Espíndola
Amanda Lucena de Medeiros

RESUMO

A Indústria 4.0 está colaborando diretamente para a revolução tecnológica, revolucionando a manufatura, aumentando a flexibilidade, personalização em massa, qualidade e produtividade. Tanto as máquinas quanto a gerência de manutenção são confrontados diariamente com tomadas de decisões envolvendo uma entrada massiva de dados e customização no processo de manufatura. Neste contexto, este estudo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura que visa mostrar as transformações de manutenção por meio de tecnologias da indústria 4.0. Para investigar as implicações da tecnologia da Indústria 4.0 no gerenciamento de manutenção, uma revisão da literatura foi realizada. Os critérios de pesquisa consistem em alcançar o estado da arte das tecnologias da Indústria 4.0 e entender como o gerenciamento da manutenção está mudando para se adaptar as novas tecnologias. É perceptível que o papel do operador de manutenção deve se adaptar em tal ambiente tecnológico, podendo supervisionar uma produção automatizada e sistemas avançados de monitoramento e interfaces de usuário.

Palavras-chave: Indústria 4.0; manutenção; revolução tecnológica; operador de manutenção.

ABSTRACT

Industry 4.0 is directly contributing to the technological revolution, revolutionizing technology, increasing flexibility, mass customization, quality and productivity. Both machines and maintenance management are on a daily basis with decisions to determine massive data entry and customization in the data fabrication process. In this context, this study aims to present



a systematic literature that aims to show how the transformation of maintenance through industry 4.0 technologies. To investigate the implications of Industry 4.0 technology on maintenance management, a literature review was carried out. Research attempts consist of reaching the state of the art of Industry 4.0 technologies and understanding how maintenance management changes to adapt to new technologies. It is noticeable the role of the maintenance operator must be adapted into, being able to oversee a sustainable production environment that advanced monitoring systems and users.

Keywords: Industry 4.0. maintenance; technological revolution; maintenance operator.

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é um conceito de indústria proposto recentemente e que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir de Sistemas Cyber-Físicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços, os processos de produção tendem a se tornar cada vez mais eficientes, autônomos e customizáveis. Essa Indústria está revolucionando os processos de tomada de decisão na indústria de manufatura. As estratégias de manutenção desempenham um papel crucial para melhorar progressivamente os desempenhos técnicos e economias econômicas. A introdução da tecnologia 4.0 resulta em inovações relevantes, capazes de condicionar as políticas de manutenção. Além disso, podem ser introduzidas soluções inovadoras, como a “manutenção remota” e a “automanutenção”.

De acordo com Mosyurchak *et al.* (2017) o gerenciamento da manutenção é considerado um dos primeiros aspectos a serem levados em consideração em um ambiente da Indústria 4.0 para ter vantagens técnicas e econômicas. Este estudo busca explicar a transformação da manutenção por meio das tecnologias da Indústria 4.0.

DESENVOLVIMENTO

Como primeiro passo para investigar as transformações da Indústria 4.0 na manutenção, uma revisão da literatura foi realizada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo “Indústria 4.0” refere-se à quarta revolução industrial e foi introduzido pela primeira vez na Feira de Tecnologias Industriais de Hannover, em 2011. De acordo com Alqahtani *et al.* (2019) a Indústria 4.0 consiste na introdução de Sistemas Físicos de Cibernética dando um passo considerável a partir da computação ou automação de processos que caracterizaram a terceira revolução. Em uma descrição mais detalhada, a Indústria 4.0 é habilitada por nove tecnologias ou “pilares” e uma mudança substancial na manufatura e gerenciamento de recursos humanos (Vaidya *et al.*, 2018; Pierdicca *et al.*, 2017). Segundo Kamble *et al.* (2018) esta era digitalizada vê a contaminação dos processos de manufatura com tecnologia da informação e comunicação (TIC), com o

objetivo de desenvolver “fábricas inteligentes” eficientes, capazes de atender às metas de gerenciamento e aos cenários atuais da indústria de forma flexível (Wittenberg, 2016). Além disso, a Indústria 4.0 ajuda a melhorar e identificar novos modelos de negócios (Gökalp *et al.*, 2017) e a satisfazer a demanda emergente de customização de produtos por meio de um controle e gerenciamento de processos inteligentes (Mourtzis e Vlachou, 2018). A área prioritária na Indústria 4.0 é a cooperação interdisciplinar entre o planejamento da produção e da manutenção, para alcançar um serviço de manutenção rápido e eficiente, permitindo que as empresas implementem um sistema de produção de baixo custo (Rødseth *et al.*, 2017). McKinsey (2015) inclui a manutenção em dois dos oito principais drivers de valor para a Indústria 4.0, que são “Utilização de ativos” e “Serviços e pós-vendas”. Definitivamente, de acordo com Mosyurchak *et al.* (2017), a maioria das empresas considera o gerenciamento de manutenção uma das etapas iniciais a serem aplicadas no contexto da Indústria 4.0, implementando uma importante transição de paralisação e manutenção periódica para políticas de manutenção preditiva e proativa, com o objetivo de obter vantagens econômicas e técnicas.

Segundo Alqahtani *et al.* (2018) o ambiente da Indústria 4.0 visa introduzir os chamados “nove pilares” de tecnologias avançadas no ambiente do processo de manufatura. Esses pilares incluem: 1) Internet das coisas industrial (IIoT); 2) Big Data; 3) Integração horizontal e vertical de sistemas; 4) Simulações; 5) Nuvens; 6) Realidade Aumentada; 7) Robôs autônomos; 8) Impressão 3D e 9) Segurança cibernética.

A Internet das Coisas Industrial (IIoT) consiste na introdução de Sistemas Cibernéticos Físicos (CPS), que são sistemas interligados via internet. Eles permitem a troca de dados local ou global e não precisam de nenhuma interação humana (Gubbi *et al.*, 2013 e Xu *et al.*, 2014).

Conforme definido por (Kaisler *et al.*, 2013), Big Data é “a quantidade de dados que está além da capacidade da tecnologia de armazenar, gerenciar e processar com eficiência”. Em um ambiente Industrial 4.0, uma quantidade relevante de dados digitais é coletada em tempo real dos CPSs.

A integração horizontal e vertical do sistema envolve uma conexão total de todos os atores de toda a cadeia de suprimentos, tornando um sistema altamente dinâmico (Peres *et al.*, 2018).

As simulações podem ser consideradas uma ferramenta digital de auxílio ao projeto de sistemas de produção, sendo adequadas para a otimização de dados em tempo real de CPSs (Chong *et al.*, 2018).

A tecnologia em nuvem inclui tanto solução de armazenamento digital quanto computação em nuvem [5], permitindo o compartilhamento de dados de CPSs de forma “on-demand” (Fernández *et al.*, 2018).

A Realidade Aumentada é a tecnologia capaz de mesclar, de forma coerente, a interação entre humanos e CPSs, sobrepondo dados digitais à realidade (Figueiredo, 2014).

As aplicações robóticas se encaixam em uma variedade de serviços em uma fábrica inteligente, ajudando os operadores em suas tarefas (Sadik e Urban, 2017). Os

robôs também adquirem dados de atividades de inspeção. A manufatura aditiva permite a impressão 3D de objetos físicos. Por exemplo, fontes típicas são representadas por projetos digitais CAD 3D.

A última tecnologia é representada pelo Cyber Security, que é definido como as interseções de sistemas inteligentes com o objetivo de proteger a informação compartilhada de ciber-ataques (Wells *et al.*, 2013).

De acordo com Alqahtani *et al.* (2019) e Jones *et al.* (2019) a transição para a Indústria 4.0 sempre resulta na implementação de novas tecnologias e em uma mudança substancial na manufatura e na gestão de recursos humanos.

METODOLOGIA

O presente estudo revisa a literatura sobre estado tecnologias de ponta da Indústria 4.0 atualmente empregadas em tarefas de manutenção e como elas podem oferecer novas oportunidades para estratégias de gerenciamento.

Os critérios de pesquisa consistem em alcançar o estado da arte das tecnologias da Indústria 4.0 e entender como as políticas de manutenção estão mudando para atender aos seus requisitos.

Artigos com título e resumo que se enquadram no escopo do estudo foram coletados e analisados.

A estrutura da revisão da literatura foi apresentada na revisão bibliográfica. Na análise dos resultados, as implicações das tecnologias da Indústria 4.0 nas políticas de manutenção são apresentadas. Por fim, são apresentadas considerações finais.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A transição para a Indústria 4.0 sempre resulta na implementação de novas tecnologias e em uma mudança substancial na gestão de manufatura e recursos humanos. Na verdade, essas novas tecnologias, que incluem a análise de dados multissensorial ou recursos autônomos, são capazes de desenvolver novas bases para a implementação de estratégias inovadoras de manutenção e otimizar práticas comuns. Por exemplo, a análise de dados e as simulações de manutenção podem otimizar o planejamento do cronograma, prevendo estágios típicos do ciclo de vida, bem como a Realidade Aumentada oferece uma orientação para diagnósticos e inspeção.

Uma solução muito atrativa habilitada pela Indústria 4.0 é representada pela estratégia de automanutenção ou manutenção autônoma, basicamente suportada por processos contínuos e não intrusivos para monitoramento dos estados do sistema [Rødseth *et al.*, 2017]. Segundo Peres *et al.* (2018), a autoconsciência e a auto previsibilidade têm um papel fundamental na Indústria 4.0 e, em relação à manutenção, são capazes de limitar o número total de paradas. A automanutenção é geralmente suportada pelo uso de tecnologia de robôs e tal estratégia é preferida por empresas que lidam com atividades que envolvem

operações de alto risco.

Um desafio importante parece ser a combinação de conceitos básicos de manutenção com desenvolvimento e avanço tecnológico. Todos estes aspectos implicam também uma mudança nas políticas de manutenção para cumprir os requisitos de uma produção digitalizada, bem como o papel do operador de manutenção parece estar remodelado.

Consta-se que o papel do operador de manutenção está mudando, podendo consistir em supervisionar a produção automatizada, também por meio de sistemas de monitoramento aprimorados.

De acordo com Silvestri *et al.* (2020) a pesquisa científica deve fornecer uma visão mais clara das etapas que uma organização deve seguir para iniciar uma transformação consciente do gerenciamento de manutenção, bem como uma descrição mais profunda e abrangente de como a Manutenção 4.0 pode ser integrada na fábrica de área. Além disso, também é importante abordar as implicações dessa transformação para o pessoal e examinar em profundidade a pesquisa sobre algoritmos de diagnóstico e prognóstico, bem como sua aplicação a diferentes ativos. Desta forma, ferramentas mais confiáveis estarão disponíveis para empresas interessadas em promover políticas de manutenção inovadoras em um ambiente da Indústria 4.0.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi investigar com base na literatura a transformação da manutenção por meios das tecnologias da Indústria 4.0 e avaliar suas implicações no gerenciamento da manutenção. Descobriu-se que a Indústria 4.0 introduziu mudanças relevantes nos processos e sistemas de manufatura, incluindo estratégias de manutenção. Parece claro que a manutenção está tendo uma reorganização relevante em termos de políticas, bem como a introdução de modalidades inovadoras. O papel do “Operador 4.0” parece ser remodelado consistindo na supervisão da produção automatizada através de sistemas de monitoramento avançados e interfaces de usuário.

REFERÊNCIAS

- ALQAHTANI, A.Y., GUPTA, S.M., NAKASHIMA, K., **Warranty and maintenance analysis of sensor embedded products using internet of things in industry 4.0**. *Int. J. Prod. Econ.* 208, 483–499. 2019.
- CHONG, S., PAN, G.T., CHIN, J. *et al.* **Integration of 3D printing and industry 4.0 into engineering teaching**. *Sustain* 10. 2018.
- FERNÁNDEZ, C.T.M., FRAGA, L.P., SUÁREZ, A. M., VILAR, M.M. **A fog computing and cloudlet based augmented reality system for the industry 4.0 shipyard**. *Sensors (Switzerland)* 18. 2018.
- FIGUEIREDO, M.J.G., CARDOSO, P.J.S., GONÇALVES, C.D.F., RODRIGUES, J.M.F. **Augmented reality and holograms for the visualization of mechanical engineering parts**. In: 2014 18th International Conference on Information Visualisation. pp 368–373. 2014.
- GÖKALP, E., S, ENER, U., EREN, P.E., **Development of an assessment model for industry 4.0:**

- industry 4.0-MM BT - software process improvement and capa-bility determination.** In: Mas, A., Mesquida, A., O'Connor, R.V., Rout, T., Dorling, A. (Eds.), Springer International Publishing, Cham. , pp. 128–142. 2017.
- GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., PALANISWAMI, M. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.** Future Gener Comput Syst 29:1645–1660. 2013.
- JONES, M., ZARZYCKI, L., MURRAY, G. **Does industry 4.0 pose a challenge for the SME machine builder? A case study and reflection of readiness for a UK SME.** IFIP Adv. Inf. Commun. Technol. 530, 183–197. 2019.
- KAISLER, S., ARMOUR, F., ESPINOSA, J., MONEY, W. **Big Data: Issues and Challenges Moving Forward.** 2013.
- KAMBLE, S.S., GUNASEKARAN, A., GAWANKAR, S.A., **Sustainable Industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives.** Process Saf. Environ. Prot. 117, 408–425, 2018.
- MCKINSEY, **Industry 4.0: How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector.** Detroit, Michigan, USA. 2015.
- MOSYURCHAK, A., VESELKOV, V., TURYGIN, A., HAMMER, M., **Prognosis of behaviour of machine tool spindles, their diagnostics and maintenance.** MM Sci. J. 2017, 2100–2104. 2017.
- MOURTZIS, D., VLACHOU, E., **A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance.** J. Manuf. Syst. 47, 179–198. 2018.
- PERES, R.S., DIONISIO, R.A., LEITAO, P., BARATA, J. **IDARTS – Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0.** Comput Ind 101:138–146. 2018.
- PIERDICCA, R., FRONTONI, E., POLLINI, R., TRANI, M., VERDINI, L., **The Use of Augmented Reality Glasses for the Application in Industry 4.0,** Lect. Notes Comput. Sci. (Including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics). 10324LNCS., pp. 389–401, 2017.
- RØDSETH, H., SCHJØLBERG, P., MARHAUG, A., **Deep digital maintenance.** Adv. Manuf. 5, 299–310. 2017.
- SADIK, A.R., URBAN, B. **An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning in Worker-Cobot agile manufacturing.** Future Internet 9. 2017.
- SILVESTRI, L., FORCINA, A., INTRONA, V., SANTOLAMAZZA, A., CESAROTTI, V. **Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review.** Computers in Industry 123. 2020.
- VAIDYA, S., AMBAD, P., BHOSLE, S., **Industry 4.0 – a glimpse.** Procedia Manuf. 20, 233–238, 2018.
- WELLS, L.J., CAMELIO, J.A., WILLIAMS, C.B., WHITE, J., **Cyber-physical security challenges in manufacturing systems.** Manuf. Lett. 2, 74–77. 2013.
- XU, L.D., HE, W., LI, S. **Internet of Things in Industries: A Survey.** IEEE Trans Ind Informatics 10:2233–2243. 2014.

Estudo da microestrutura do cordão de solda em soldagem por arco submerso de aço carbono com base na variação do balanço de onda em corrente alternada de onda quadrada

Fábio Bandeira Oliveira

Ricardo Dourado Santos

Magda dias Gonçalves Rios

Antonio Carlos Santos Arruda

Douglas Morais

Rodrigo Melo Gandini

RESUMO

Este estudo visa a caracterização do cordão de solda, em soldagem por arco submerso (SAW) com balanço de onda estipulado de 25% positivo e 75% negativo, amostra 1, em comparação ao balanço de onda de 75% positivo e 25% negativo, amostra 2, aplicados ao aço carbono, onde, ambos os corpos de prova foram confeccionados com os mesmos procedimentos de soldagem. Com isso, após as confecções dos corpos de prova foram realizadas simulações de carbono equivalente, temperaturas de transformação Ac1, Ac3 e martensítica, energia do arco de soldagem, entrada de calor, temperatura de resfriamento de soldagem, dureza máxima, volume de martensita e resistência à tração, o que nos levou a um alto nível de análise da influência que a variação do balanço de onda teve nas amostras estudadas. Ensaio metalográfico foram aplicados nas amostras e permitiram o aprofundamento na análise da influência do balanço de onda na geometria e microestrutura do cordão de solda. A macrografia caracterizou o formato do cordão, onde notou-se diferenças significativas na penetração, onde na amostra 2 foi obtida a penetração total da chapa de 6mm de espessura. Por fim na caracterização microestrutural, assim como na macrografia, notou-se diferenças importantes, como a variação da extensão da ZAC, e na granulometria, além da variação da quantidade e morfologias de fases desejadas e indesejadas nas amostras.

Palavras-chave: arco submerso; corrente alternada de onda quadrada; variação do balanço de onda; aço ASTM A36.



ABSTRACT

This study aims at characterizing the weld bead in submerged arc welding (SAW) with a specified wave balance of 25% positive and 75% negative for sample 1, in comparison to the wave balance of 75% positive and 25% negative for sample 2, applied to carbon steel. Both test specimens were fabricated using identical welding procedures. Subsequently, after the fabrication of the test specimens, simulations were conducted for equivalent carbon content, transformation temperatures (Ac_1 , Ac_3 , and martensitic), welding arc energy, heat input, welding cooling temperature, maximum hardness, martensite volume, and tensile strength. This comprehensive approach led to a high-level analysis of the influence that the wave balance variation had on the studied samples. Metallographic tests were applied to the samples, allowing for a deeper analysis of the influence of the wave balance on the geometry and microstructure of the weld bead. Macrography characterized the weld bead's shape, revealing significant differences in penetration, where sample 2 achieved complete penetration of the 6mm thick plate. Finally, in the microstructural characterization, as well as in the macrography, notable differences were observed, including variations in the extent of the Heat-Affected Zone (HAZ), grain size, and variations in the quantity and morphologies of desired and undesired phases in the samples.

Keywords: Submerged arch; square wave alternating current; variation of the wave balance; ASTM A36 steel.

INTRODUÇÃO

Desde os tempos de revolução industrial, as empresas vêm se aprimorando com visando aumentar a produção e maximizar a qualidade dos produtos. Investimentos são feitos na área de pesquisa, com objetivo de otimizar o processo produtivo. Este processo não é diferente para a soldagem, que ao longo dos anos tem recebido cada vez mais investimentos uma vez que trata da união de materiais com melhor eficiência e qualidade no mercado. A soldagem é utilizada para unir desde polímeros até metais de alta temperatura de fusão, isto devido há anos de pesquisas e estudos para aperfeiçoar os processos.

Quando se refere a produção em larga escala em relação aos processos de soldagem, destaca-se a soldagem por arco submerso, devido a muitos benefícios que este possui em relação aos demais processos de soldagem existentes: alta taxa de deposição, velocidade de soldagem, fácil automatização, possibilidade de soldar chapas de até 16mm em passe único e solda basicamente todos os metais, são algumas das vantagens do procedimento que o colocaram como principal processo de soldagem para produções em larga escala. Estudos e pesquisas realizadas em todo mundo visando novas técnicas de soldagem utilizando arco submerso, e uma delas é a soldagem por arco submerso com corrente alternada de onda quadrada com variação no balanço de onda, frequência da onda, de deslocamento do ciclo de onda. Esta técnica foi desenvolvida recentemente, e muitos estudos estão sendo feitos para aprimoramento, o ponto principal é controle dos parâmetros geométricos do cordão de solda através de ajustes na variação do balanço de onda em corrente alternada de onda quadrada e da possibilidade da redução da energia de soldagem sem prejuízos expressivos na produtividade do processo (Machado, 1996) (Forte, 2004).

O presente trabalho consiste na confecção de dois corpos de prova soldados com o método de soldagem por arco submerso com corrente alternada de onda quadrada, aplicando variação do balanço de onda, para a posterior comparação dos efeitos da variável chave sobre o cordão de solda. Cálculos como o da energia de soldagem, temperaturas de transformação Ac1 Ac3 e Ac_m, carbono equivalente, taxa de resfriamento, entrada de calor, resistência a tração e dureza máxima, além de testes de macrografia e micrografia proporcionará uma base de dados ampla para comparação das amostras. As pesquisas sobre o tema são recentes, portanto, a literatura é escassa, contudo, as expectativas sobre novos resultados são empolgantes sobretudo em caráter nacional onde o tema é praticamente inexistente.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Processo de soldagem arco submerso

O processo de soldagem arco submerso, também conhecido como SAW (*Submerged Arc Welding*), trata-se de meio de soldagem onde o calor é aplicado na peça através de arco elétrico que flui através de um fluxo granuloso, este fluxo tem como objetivo proteger o cordão de solda e a poça de fusão da ação oxidante da atmosfera, este fluxo funde-se, devido a ação do calor do arco elétrico, junto com o arame e o metal base, porém como seu ponto de fusão é mais baixo que dos outros ele se solidifica por último consequentemente depositando-se sobre o cordão de solda formando assim a escória que garante a proteção contra os efeitos da atmosfera. O fluxo tem diversas funcionalidades no processo além de proteção do cordão de solda, atua como isolante térmico o que acarreta uma maior concentração do calor durante a soldagem proporcionando uma maior penetração, pode conter elementos desoxidantes ou de adição que mudam a composição química do material, por fim, envolve completamente o arco elétrico evitando assim diversos problemas como faíscas luminosas ou respingos. Ao fim do processo o fluxo não fundido pode ser descartado ou reaproveitado se misturado a uma proporção de 3 para 1 com fluxo novo, dependendo das especificações do projeto, e a escória depositada sobre o cordão e facilmente removida e descartável. (Forte, 2004; Paranhos; Souza, 1999; Araujo, 2006; Ogborn, 1994; Dallan; Damkroger; 1993; Farias, 2021)

Vantagens e desvantagens do SAW

O SAW pode ser considerado um dos processos de soldagem mais vantajosos existentes no mercado, pois uma de suas principais vantagens está no alto índice de rendimento, devido a fatores que maximizam sua eficiência como o fato de não haver desperdícios causados por respingos, pois o fluxo estingue este tipo de problema no processo. O SAW é um processo de alto nível energético, ou seja, possibilita o uso de altos níveis de corrente, podendo chegar a 4000A, o que aliado a outros benefícios do processo, como, fluxo ser um isolante térmico ou a densidade de corrente muito alta, garante uma alta taxa de deposição, principal característica que o difere dos demais processos de soldagem. Com isso temos um processo de soldagem rápido e eficiente, evitando desperdícios e realizando as soldagens com muita rapidez. Nota-se que material de solda apresenta uma boa integridade, ou seja, alta tenacidade e resistência ao impacto, aspectos essenciais para

se qualificar uma soldagem, além de uniformidade e um excelente acabamento o cordão de solda. (Machado,1996; Forte, 2004; Paranhos; Souza, 1999; Araujo, 2006; Ogborn, 1994; Dallan; Damkroger; 1993; Farias, 2021)

Segue algumas vantagens do processo SAW abaixo:

- Processo de operação fácil e simples;
- Boa qualidade mecânica e estética do cordão de solda;
- Espessura de soldagem em um único passe até 16 mm, e soldagem multipasse sem limite de espessura;
- Solda a maioria dos aços, ferríticos e austeníticos.
- Boa integridade do metal de solda.
- Altas taxas de deposição e de velocidade de soldagem.
- Alto rendimento do processo, pois, não há perda por projeções ou respingos;
- Processo de alto nível energético possibilitando correntes elevadas de até 4000A.
- Velocidade de soldagem até 400 cm/min. com um único arame.
- Maximização da velocidade de soldagem com a adição de mais arames, pratica que recebe o nome de “*Tandem Arc*” ou “*Twin Arc*”;
- Se o tamanho dos passes for limitado, soldas horizontais podem ser executadas em superfícies verticais, desde que seja providenciado um suporte adequado para o fluxo.
- Nenhum arco de soldagem visível, minimizando requisitos de proteção.
- Pouca fumaça (fumos).
- Melhor ambiente de trabalho é mais segurança para o operador.

Assim como outros processos de soldagem o SAW possui limitações que podem influenciar diretamente no processo de produção, portanto, a análise dessas características se faz tão importante quanto a de analisar as vantagens do procedimento. A principal dificuldade do procedimento é a questão de posições de soldagem, pois, o equipamento do SAW não se adapta facilmente em todas as posições, principalmente devido ao depósito do fluxo se dá através da ação gravitacional, portanto posições como sobre cabeça ou horizontal tornam-se impossíveis de serem realizadas sem aparatos que impeçam a queda do fluxo, como por exemplo a utilização de retentores de fluxo, e na soldagem circunferencial pode-se utilizar um sustentador de fluxo. (Araujo, 2006; Ogborn, 1994; Dallan; Damkroger; 1993; Farias, 2021)

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para realização dos procedimentos de soldagem, utilizou-se como metal base uma chata de aço estrutural do tipo ASTM A36, que possui na condição como laminado resistência à tração entre 400 a 500 MPa e limite de escoamento da ordem de 250 MPa. O metal de adição selecionado foi o arame, EM12K ou AWS A5.17, com média concentração de manganês e baixa concentração de carbono e silício na sua composição química, com diâmetro de 3,18 mm. As composições químicas nominais do metal base e metal de adição encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química nominal em porcentagens de massa do metal base e do metal de solda utilizados nos procedimentos de soldagem.

MATERIAIS	C (máx.)	Mn	Si	P (máx.)	S (máx.)	Cu (máx.)
ASTM A36	0,29%	1,00%	0,28%	>0,04%	>0,05%	0,20%
EM12K	0,15%	0,8 – 1,25%	0,1 – 0,35%	0,03%	0,03%	0,35%
AWS A5.17						

Fonte. Autores.

O fluxo utilizado nos ensaios de soldagem foi do tipo ativo granulado, correspondente à especificação AWS F7A2 ou Carbox 105 fornecido pela empresa Lincoln, o qual possibilita soldagem multipasses, combina com arame baixa liga e é indicado para soldagem com corrente alternada, além de proporcionar bom aspecto do cordão, facilidade em remover a escória e excelente soldabilidade.

O metal base constitui-se de duas barras de aço estrutural com as dimensões de 110 mm de comprimento, 100mm de largura e 6mm de espessura caracterizando o corpo de prova, estas barras foram fixadas em uma bancada através de sargentos e unidas inicialmente por ponteamto, possibilitando assim o início da soldagem por arco submerso.

Os equipamentos selecionados para a soldagem consistem em uma fonte Power Wave AC/ DC arco submerso, corrente e tensão máxima de 1000 A e 44 V e cabeçote alimentar de arame. Este equipamento possui a tecnologia de controle de formato de onda em arco submerso, ou seja, é capaz de produzir uma frequência e amplitude de onda variável, tanto para corrente contínua quanto para corrente alternada, permite que o processo de soldagem seja otimizado no que se refere a taxa de deposição, penetração ou velocidade de soldagem. Adaptou-se ao porta eletrodo um trator de soldagem com velocidade ajustável cujo percurso foi definido por um trilho paralelo ao corpo de prova.

Power Feed 10A, baseado no tradicional NA-5, trata-se da interface de usuário, ou seja, uma estação digital onde o operador pode controlar as variáveis do processo. Pelo painel do equipamento controla-se a velocidade de alimentação do arame, iniciar ou interromper a operação de solda, iniciar a deposição do fluxo, velocidade de deslocamento do trator e controlar simultaneamente múltiplos processos de solda.

Métodos

Soldagem

O procedimento foi realizado no equipamento Power Wave AC/DC arco submerso, o fluxo utilizado foi Carbox 105 especificado pela norma AWS F7A2. As soldagens foram realizadas em chapas planas com espessura de 6mm, largura de 100 mm e comprimento de 110 mm.

A fonte foi configurada com os parâmetros de composição do material de base e do eletrodo, espessura da chapa e diâmetro do arame. Com a chapas posicionadas depositou-se o fluxo de material particulado posicionando-se em direção à linha de solda. O arco elétrico foi aberto, por atrito dando início ao processo.

A Tabela 2 apresenta as variáveis de soldagem utilizadas durante o experimento V (tensão do arco), W (velocidade alimentação do arame), A (corrente de soldagem), V_D (velocidade de soldagem) e t_s (tempo de soldagem).

Tabela 2 - Variáveis de soldagem utilizadas no procedimento.

CP #	V (V)	WFS (IPM)	A (A)	VD (IPM)	ts (s)	Características de SETUP
A1	30	80	450	25	9	SQUARE WAVE / 60 Hz / 25% - 75%
A2	30	80	500	25	10	SQUARE WAVE / 60 Hz / 75% - 25%

Fonte: Autores

METALOGRAFIA

- Etapa de corte

Para iniciar o procedimento escolheu-se o tipo de corte no corpo de prova, no caso, corte por serra fita, onde fixou-se a amostra e iniciou-se o corte em um ângulo de 90 graus em relação ao cordão de solda, após este corte realizou-se outro corte 1,2 cm paralelamente ao primeiro corte por fim finalizou-se o procedimento de corte com 2 cortes paralelos ao cordão de solda para reduzir o tamanho do corpo de prova e facilitar o processo de lixamento. Em todos os cortes a peça foi refrigerada a água e óleo.

- Etapa de lixamento

Iniciou-se o processo de lixamento. Utilizou-se lixadeiras com plataformas giratórias AROTEC AROPOL 2V, onde, a própria lixadeira possui sistema de refrigeração das lixas.

A primeira lixa a ser utilizada foi a lixa de granulometria 180, posicionou-se a seção a ser analisada perpendicularmente contra a lixa em rotação, aplicando-se compressão moderada sobre a amostra, com a finalidade de evitar problemas como abaulamento no material. A cada ciclo de lixamento a amostra foi rotacionada 90 graus em relação ao primeiro ângulo de lixamento. As lixas utilizadas no procedimento foram 180, 220, 320, 500, 800, 1000 e 1200 Ao fim do processo de lixamento as amostras foram gravadas e identificadas.

- Etapa de polimento

Após o lixamento foi realizado o polimento, na mesma máquina AROTEC AROPOL

2V , onde, utilizou-se panos de polimento que contem micropartículas de caráter abrasivo. Porém, antes de iniciar o polimento as amostras foram lavadas com água. O processo de polimento procedeu da mesma forma como descrito no lixamento, porém, sem orientação de movimento. O fim do polimento a amostra foi limpo com água e detergente, e secagem acelerada com auxílio de álcool e um secador elétrico de ar quente. No processo de polimento foram utilizadas pastas de diamante de 6, 3 e 1 μ m.

- Etapa de ataque químico

Após o polimento foi realizado ataque químico nas amostras. Foram realizados dois ensaios metalográficos, macrografia e micrografia, o procedimento foi reiniciado após a conclusão da macrografia para a realização da micrografia. Para a macrografia o ataque foi feito após a etapa de lixamento da lixa 1000. Para o ataque utilizou-se a técnica de umedecimento, a qual, utilizou-se um algodão com uma pequena quantidade de Nital 10%, como composição de 10% de ácido nítrico, e 90 % álcool. O ataque para realização da micrografia, o qual se refere ao procedimento completo, foi realizada da mesma forma descrita no ataque da macrografia, porém com Nital 2%, onde tem-se 2% de ácido nítrico e 98% de álcool.

- Etapa de fotografia

Finalizado o processo de preparação da amostra, prosseguiu-se para fase de macroscopia ótica e microscopia ótica, onde, utilizou-se um microscópio ótico com câmera acoplada que fornece aumento de até 500x. Nesta etapa, colheu-se imagens do metal base 50x, 100x e 200x, da fronteira do metal base e metal fundido 50x e 100x e do metal fundido 50x, 100x, 200x de ambas as amostras. R quanto a macrografia obteve-se imagens de perfil do cordão de solda nos aumentos 6,5x e 8x de ambas as amostras.

Procedimento de simulação

Para realização do procedimento de simulação utilizou-se o site www.jwes.or.jp/en/, onde por meio da introdução dos parâmetros de soldagens utilizados, pode-se calcular diversos aspectos relevantes para esta pesquisa como: Carbono equivalente, Temperatura de transformação, Histórico Térmico, dureza máxima (ZAC), Temperatura de pré-aquecimento e resistência à tração do metal de solda:

RESULTADOS E DISCUSSÕES

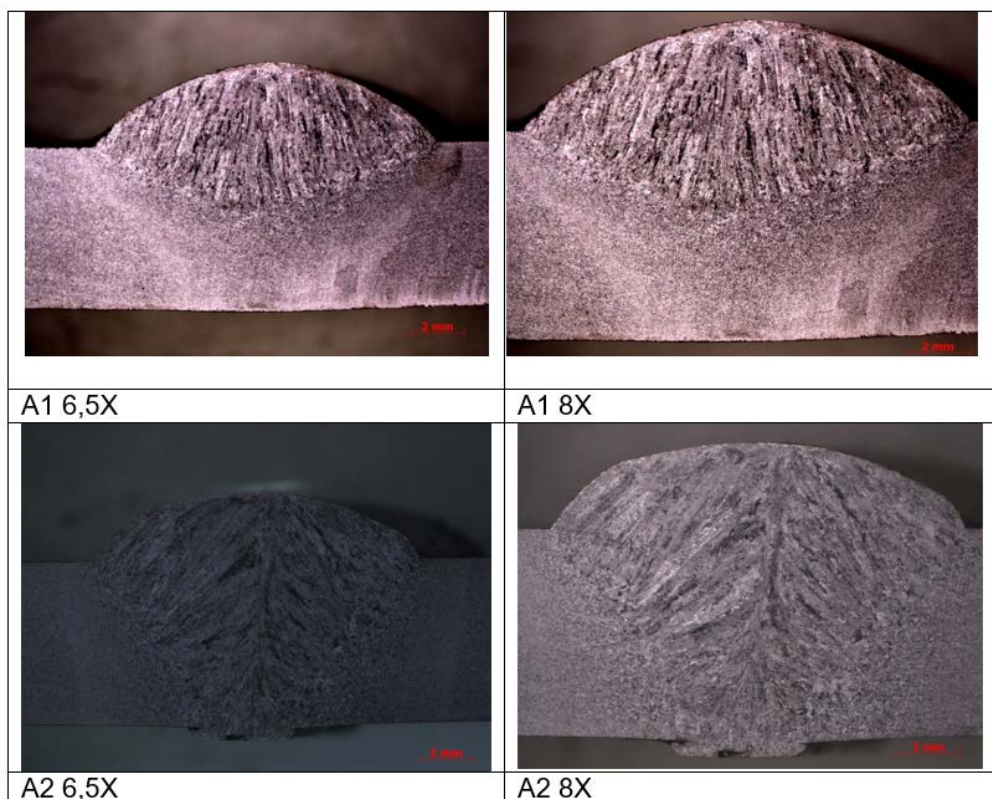
Os resultados das simulações das condições de soldagem e seus efeitos no material são apresentados na Tabela 3, onde CE (IIW): Carbono equivalente de acordo com *International Institute of Welding* (IIW); CE (WES): Carbono equivalente de acordo com *Welding Engineering Society* (WES); TT Ac3: Temperatura de transformação referente a linha Ac3; TT Ac1: Temperatura de transformação referente a linha Ac1; TT Ms: Temperatura de Transformação de Martensita; EA: Energia do arco de soldagem; EC: Entrada de calor; TRS: Temperatura de resfriamento de soldagem; ZAC: Dureza máxima; VM: Volume de martensita e RT: Resistência à tração.

Tabela 3 - Resultados obtidos a partir da simulação feita no site da JWES.

Cp	CE (IIV)	CE (WES)	TT Ac3 (°C)	TT Ac1 (°C)	TT Ms (°C)	EA (Kj/mm)	EC (Kj/mm)	TRS (s)	ZAC	VM (%)	RT (Mpa)
A1	0.470	0.468	803.6	731.8	386.6	1.276	1.237	43.563	241.2	5.6	771.6
A2	0.470	0.468	803.6	731.8	386.6	1.417	1.375	50.402	236.4	3.7	752.5

Fonte: Autores

Os resultados da simulação mostram que embora a amostra A1 apresente uma menor energia de soldagem nesta amostra são esperadas as maiores alterações na maro e microestrutura na região da solda, tal fato é esperado uma vez que a amostra 1 apresenta um balanço de onda 25% no ciclo positivo e 75% no ciclo negativo portanto, como não há variação na frequência, durante a soldagem o fluxo de elétrons é direcionado uma maior quantidade de tempo para o metal base gerando um maior aquecimento deste e conseqüentemente maiores alterações microestruturais, desta forma refletindo nos resultados de dureza na ZAC e possível formação de fração de fase martensítica e aumentando a resistência a tração. As fotografias apresentadas na figura 1 trata-se das macrografias dos corpos de prova A1 e A2.

Figura 1 - Macrografias.

Fonte: Autores.

A análises das macrografias apresentadas na figura 1 mostram que os parâmetros geométricos do cordão de solda assim como o formato e extensão da zona afetada pelo calor apresentaram características bem distintas onde a amostras A1 apresentou uma penetração menor que a amostra A2, a zona afetada pelo calor na amostra A2 indica que o escoamento do calor apresenta caráter bidimensional, com relação a estrutura de solidificação também pode ser observado que na amostra A1 os grão colunares de solidificação da poça de fusão

apresentam-se orientados perpendicularmente ao metal de base, na amostra A2 a estrutura de solidificação apresenta uma linha central onde é possível observar o encontro das frentes de solidificação esse fato está atrelado a relação entre os parâmetros de soldagem e sua relação com a velocidade de deslocamento desta forma esta macroestrutura apresenta-se de forma similar a cordões gerados por uma poça de fusão elíptica. A estrutura de solidificação apresentada pela amostra A2 também aumenta as possibilidades de formação de trincas de solidificação, entretanto, esse tipo de descontinuidades não foi observado neste trabalho. A fim de melhor compreender o efeito do balanço de onda nos parâmetros geométricos do cordão as macrografias foram quantificadas utilizando o software ImageJ, os resultados da quantificação são apresentados na tabela xx onde largura do cordão (LC), altura do reforço (AR), penetração máxima (PM), área fundida (AF), área total (AT) e diluição (D) e figuras xx

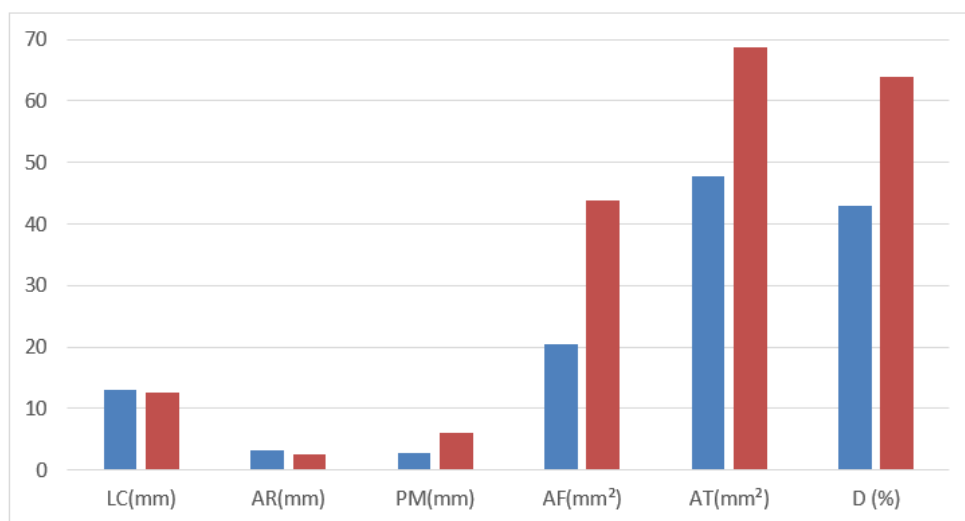
Tabela 4 - Medidas das macrografias adquiridas com auxílio do programa imagem J.

CP	LC(mm)	AR(mm)	PM(mm)	AF(mm ²)	AT(mm ²)	D
01	13,03	3,16	2,83	20,47	47,84	0,43
02	12,64	2,59	6,00	43,85	68,78	0,64

Fonte: Autores.

Com base nas medidas lineares obtidas do cordão e apresentadas na tabela 4, foi plotado gráficos a fim de melhor analisar os efeitos na mudança do balanço de onda 25/75 (A1, cor azul) e 75/25 (A2, cor vermelha).

Figura 2 - Resultados de Macrografia.



Fonte: Autores.

Nos resultados apresentados na Tabela 4 e Figura 2 observa-se em relação a largura do cordão, que há uma pequena diferença nas medidas obtidas, onde o corpo de prova número 01 mostrou-se 3,1% maior do que o corpo de prova 02, portanto não representa diferença significativa, este resultado já era esperado uma vez que não ocorreu variação na tensão utilizada durante a soldagem e esta variável de soldagem está relacionada com a largura do cordão.

Na medida de altura do reforço, ao contrário da largura do cordão, nota-se uma diferença considerável após comparados os corpos de prova, a amostra 01 apresenta um

reforço de solda 20% maior do que o reforço do corpo de prova 02, este valor não era esperado visto que a variável que controla a altura do reforço e a penetração da solda é a corrente de soldagem e para amostra A1 a corrente de soldagem foi maior que na amostra A2, cabe aqui ressaltar que esse aumento de corrente é realizado pelo equipamento visto que os ajustes são sinérgicos, portanto o qual atribui-se a variável chave, variação do balanço de onda, portanto, pode ser atribuído ser compreendido através da mudança no balanço de onda uma vez que durante um ciclo de onda ela passa mais tempo em negativo o que favorece uma menor taxa de fusão do arame, conseqüentemente uma menor quantidade de arame é fundida.

A penetração máxima é o aspecto chave neste estudo, com base nas observações dos resultados, trata-se do parâmetro de maior variação entre os dois corpos de provas, a amostra 02 apresenta penetração total, ou seja, representa um valor não exato em vista que a precisão ficou limitada pela espessura da chapa de 6mm, porém um resultado altamente conclusivo, assim, o ajuste de balanço de onda da amostra 02 resultou em penetração aproximadamente 112% maior do que a amostra 01.

Esse fato deve-se ao balanço de onda da amostra A2 ser 75/25 desta forma o fluxo de elétrons está direcionado uma maior quantidade de tempo no eletrodo causando uma maior taxa de fusão do eletrodo conseqüentemente após a transferência metálica uma maior quantidade de energia é adicionada a poça de fusão. Esses valores corroboram com os valores obtidos para a Área total do cordão, assim como na penetração, que apresenta diferenças relevantes, mas completamente relacionadas com as diferenças da penetração, em vista que, quanto maior a penetração maior será a área fundida e a área do cordão. A área da zona fundida mostra-se aproximadamente 114% maior na amostra 02 e a área total do cordão aproximadamente 44% maior no corpo de prova 02. Ainda em conseqüência do diferencial da penetração, a diluição na amostra 02 é aproximadamente 49,18% maior em relação a amostra 01.

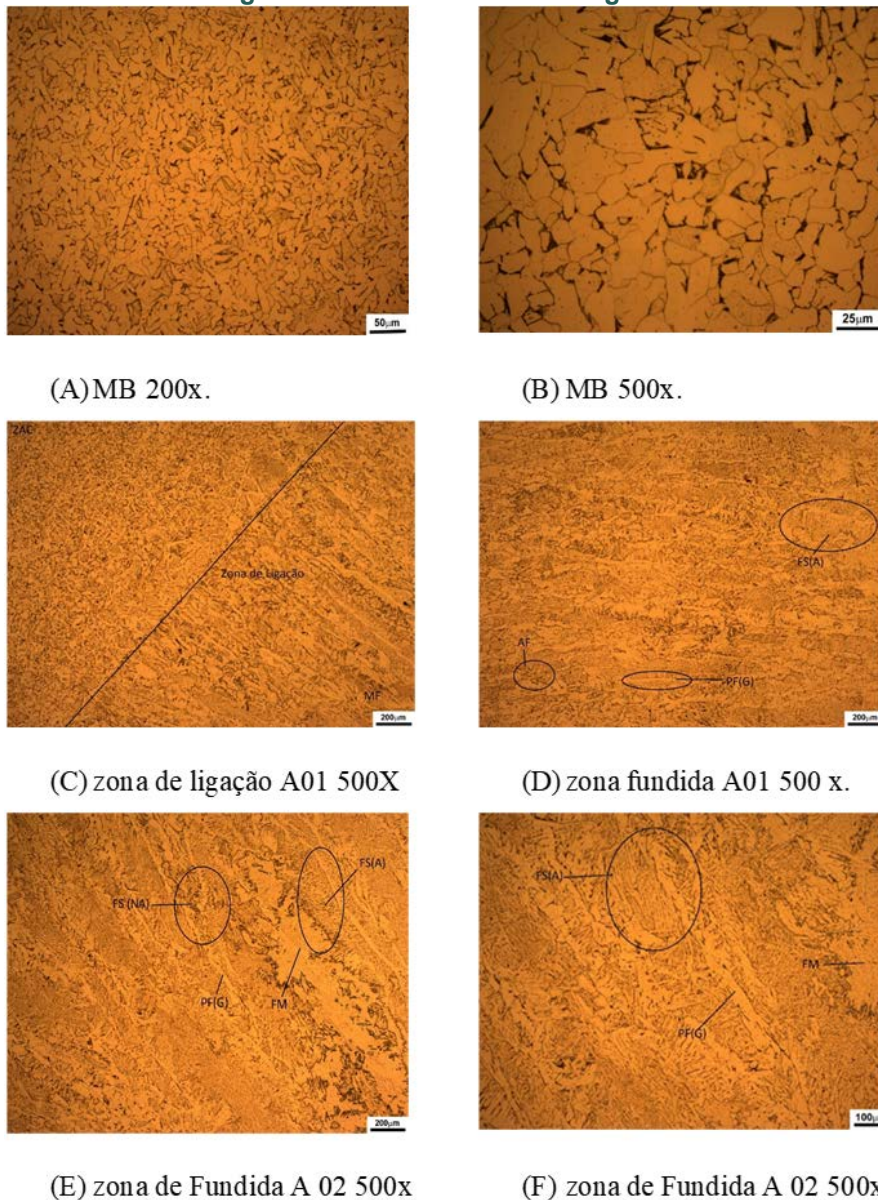
A micrografia evidencia a ação do aporte térmico no metal e como a morfologia reage a uma operação de soldagem onde pode-se atingir temperaturas de até 3200 °C, mais do que suficientes para permitir as transformações de fase no metal, a figura 3 segue a micrografia do metal de base original, sem a influência de nenhum aporte térmico para nível de comparação com a zona de ligação e a zona fundida regiões que receberam grande aporte de calor devido a soldagem.

Na figura 3 (A) e (B) é possível observar que o metal base é composto apenas por ferrita e perlita, onde a fração de perlita é baixa comparada a fração de ferrita. A figura 3 (B) representa a zona de transição do metal base para o metal fundido e caracteriza morfologias encontradas como ferrita de segunda fase (FS), ferrita acicular (AF) e ferrita de contorno de grão (PF) referente ao corpo de prova A01, nota-se claramente a granulometria diferente na zona de fusão para os grãos encontrados na ZAC.

A figura 3 (C) mostra a zona fundida e suas morfologias referente ao corpo de prova A01. Nota-se diversos tipos de morfologias na zona fundida do corpo de prova, ferrita de segunda fase alinhada FS(A), ferrita acicular (AF) e Ferrita de contorno de grão PF(G). NA figura (E) e (F) mostram a zona fundida e suas morfologias referente ao corpo de prova 02. Nota-se diversos tipos de morfologias na zona fundida do corpo de prova, ferrita de

segunda fase alinhada FS(A), ferrita acicular (AF), ferrita de contorno de grão PF(G) e ferrita massiva FM.

Figura 3 - Resultados de Micrografia.



Fonte: Autores

Considerado as imagens das micrografias, fica claro a diferença de aporte térmico resultante da variação do balanço de onda entre as duas amostras, mesmo quando a energia de soldagem calcula da forma tradicional se mantém constante. Atributos das fotografias, como, extensão da ZAC, quantidade de grãos grosseiros e quantidade de grãos finos revelaram que o aporte térmico na amostra A02 foi mais alto em relação ao da amostra 01, fato corroborado com os resultados obtidos nas macrografias, onde no corpo de prova 01 que apresentou penetração parcial e no corpo de prova 02 penetrações total.

Já na comparação das morfologias encontradas na zona fundida, nota-se grande semelhanças tendo em vista que, trata-se da mesma composição de matérias e o diferencial de aporte térmico induzido pela variação do balanço de onda não tem influência significativa nesta resultante devido a quantidade de carbono e elementos de liga serem insuficientes para gerar estruturas de maior dureza, contudo, pode-se notar uma maior

quantidade de ferrita acicular no corpo de prova 01, o que significa uma ligeira melhora nas propriedades mecânicas da amostra 01. Mesmo as morfologias nas zonas fundidas sendo consideradas semelhantes, algumas variações devem ser consideradas, como a presença de ferrita massiva (FM) que pode ser notada nas figuras (E) e (F) que são representações fotográficas das zonas fundidas da amostra 02, esse fenômeno foi atribuído a uma variável não intencional, taxa de resfriamento. Como ambos os corpos de prova foram resfriados à temperatura ambiente (25°C), não se considera este atributo como uma variável, porém, um diferencial na resultante área fundida, que se mostrou maior no corpo de prova 02, pode resultar em uma taxa de resfriamento menor em relação ao corpo de prova 01, portanto a formação de ferrita massiva ao diferencial da taxa de resfriamento devido as diferenças das zonas fundidas entre as duas amostras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a variação do balanço de onda, em soldagem por arco submerso, entre duas amostras para posterior comparação e verificação de benefícios e malefícios, tendo em vista que se trata de um campo pouco estudado no Brasil atualmente e por ser um avanço recente na técnica de arco submerso.

As macrografias revelaram que o aporte térmico foi consideravelmente maior na amostra 2, onde o balanço de onda utilizado foi 75% + e 25% -, o que resultou em penetração total e área fundida e total consideravelmente maiores em relação à amostra 1 que utilizou balanço de onda 25% +, 75% -. Outras resultantes que devem ser relatadas são, ligeira vantagem no tamanho do reforço e na largura do cordão na amostra 1 e maior diluição na amostra 2.

As micrografias revelaram que a extensão da ZAC no corpo de prova 1 foi menor em relação ao corpo de prova 2, que apresentou uma região de grãos grosseiros significativamente maior do que a amostra 1. Nas zonas fundidas de ambas as amostras foram encontradas morfologias como, perlita de contorno de grão (PF(G)), ferrita de segunda fase alinhada (FS(A)), ferrita de segunda fase não alinhada (FS(NA)). Na amostra 1 foi encontrado ferrita acicular em maior quantidade em relação à amostra 2 o que pode indicar melhores propriedades mecânicas do corpo de prova 1. Na Amostra 2 foi encontrado em maior quantidade ferrita massiva que está diretamente ligado ao diferencial da taxa de resfriamento, que a princípio não era uma variável, tendo em vista que ambas as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente (25°C), porém como as áreas das zonas fundidas variarem significativamente conseqüentemente houve variação na taxa de resfriamento.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M, R, V. **Caracterização Microestrutural do Metal de Solda Depositado por Arco Submerso em Chapas de Aço Carbono Estrutural**. Ilha Solteira, 2006, p33.

DALLAN, C. B.; DAMKROGER, B. K. **Characterization of welds**. In: DAVIS, J.R. *et al.*, (Ed.). ASM handbook: Welding, Brazing, and Soldering. Metals Park; American Society for Metals, 1993.p.202-209.

FARIAS; T.A.; *et al.* **Efeito da Velocidade de Soldagem nas Características Geométricas e Microestruturais de Soldas por Arco Submerso em Tandem Arc.** Soldagem & Inspeção. 2021;26:e2609.

FORTE, C. Esab. **Apostila de Arco Submerso.** São Paulo, SP 2004. 04 p.

MACHADO, I, G. **Soldagem e técnicas conexas: Processos.** Porto Alegre, RS 1996. 2p.3p.

PARANHOS, R ; SOUZA, A.C. **Soldagem a Arco Submerso.** Coleção Soldagem 2000. Rio de Janeiro, 1999,p.15.

FORTES, C, ARAÚJO, W. **Metalurgia da Soldagem,** ESAB, 1994.

OGBORN, J.S. **Submerged arc welding.** In: DAVIS,J.R. *et al.*(Ed.).ASM handbook: Welding, Brazing, and Soldering. Metals Park; American Society for Metals, 1993.p.202-209.

Correlação entre as características macroestruturais, elétricas e mecânicas das ligas AL-1% e AL-2%Si

Correlation between macrostructural, electrical and mechanical characteristics of alloys AL-1% and AL-2%Si

Luane Luiza Pereira Marques

Universidade Federal do Pará

Wellington Bruno Silva de Jesus

Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro

Hérciles Ruiliman Oliveira de Souza

Universidade Federal do Pará

Amanda Lucena de Medeiros

Universidade Federal do Pará

Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará

Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará

Maria Adrina Paixão de Souza da Silva

Universidade Federal do Pará

RESUMO

O alumínio é um material não ferroso que possui baixa densidade, leveza, condutibilidade térmica e elétrica muito similar ao cobre (Cu), podendo suas ligas substituírem em algumas aplicações as ligas de cobre. É um material reciclável em grande abundância na crosta terrestre. Em decorrência das respectivas propriedades esse metal é capaz de substituir materiais tradicionalmente utilizados nos setores automobilísticos, aeroespaciais e na produção de cabos e fios condutores de energia elétrica. O objetivo do presente trabalho consiste em produzir duas ligas de Alumínio com adição de 1 e 2% de Si por métodos convencionais de fundição, correlacionar suas macroestruturas, avaliar a condutividade elétrica e o LRT (Limite de Resistência a Tração) dos fios após a laminação. O material foi fundido e vazado em molde de coquilha vertical, após o desmolde, foi retirada uma amostra na qual foi preparada através do processo de



metalografia, em seguida foi feito o ataque químico com o ácido keller revelando a macroestrutura do material, o restante da liga foi usinada até o diâmetro de 18,5 cm e laminada a frio até o diâmetro fosse reduzido a 3 m. Foi realizado o ensaio de condutividade elétrica do fio com 40 cm de distância entre garras de acordo com as normas NBR 5118 e NBR 6814. Posteriormente foi feito o ensaio de tração nos fios com distância de 15 cm entre as garras, de acordo com NBR 6810. De acordo com os resultados, foi possível observar há presença parcial em sua macroestrutura de grãos equiaxiais e colunares. O ensaio de condutividade elétrica mostrou que quanto menor a porcentagem de silício maior a condutividade elétrica. Porém, a liga que teve maior LRT foi a liga com maior teor de Si (Al-2 %Si), apresentando maior resistência à tração. Logo, os resultados foram satisfatórios ficando evidente que ambas tiveram ganhos em suas propriedades.

Palavras-chave: alumínio; propriedades; resultados; silício.

ABSTRACT

Aluminum is a non-ferrous material that has low density, lightness, thermal and electrical conductivity, very similar to copper (Cu), and its alloys can replace copper alloys in some applications. It is a recyclable material in great abundance in the earth's crust. Due to its respective properties, this metal is able to replace materials traditionally used in the automotive, aerospace and in the production of cables and wires for electrical energy. The objective of the present work is to produce two aluminum alloys with the addition of 1 and 2% of Si by conventional casting methods, to correlate their macrostructures, to evaluate, the electrical conductivity and the LRT (Limit of Tensile Strength) of the wires after lamination. The material was melted and poured into a vertical mold, after demolding, a sample was taken from which it was prepared through the metallographic process, then the chemical attack was carried out with keller acid revealing the macrostructure of the material, the rest of the Alloy was machined to a diameter of 18.5 cm and cold rolled until the diameter was reduced to 3 m. The electrical conductivity test was carried out on the wire with a distance of 40 cm between the clamps according to the NBR 5118 and NBR 6814 standards. Subsequently, the tensile test was carried out on the wires with a distance of 15 cm between the clamps, according to NBR 6810 According to the results, it was possible to observe a partial presence in its macrostructure of equiaxial and columnar grains. The electrical conductivity test showed that the lower the percentage of silicon, the higher the electrical conductivity. However, the alloy that had the highest LRT was the alloy with the highest Si content (Al-2%Si), with higher tensile strength. Therefore, the results were satisfactory, being evident that both had gains in their properties.

Keywords: aluminum; properties; results; silicon.

INTRODUÇÃO

O grande consumo de alumínio (Al) na indústria moderna. É o elemento mais abundante da crosta terrestre e o metal mais utilizado comercialmente (Abal, 2012). Sendo um metal não ferroso que apresenta excelentes propriedades físico-químicas, com destaque a resistência à corrosão, baixa densidade, elevada condutividade térmica e elétrica, além

de facilidade no processamento por vários métodos de fabricação. Sua posição no cenário industrial mundial perde apenas para o aço (Almeida, 2013).

A maleabilidade do alumínio, pouco resistente à ruptura e sua pureza comercial varia entre 90 a 99 % com pequenas quantidades de ferro e silício, formando assim ligas duras e fortes (Peixoto, 2001). As ligas de alumínio com adição de elementos ligantes têm a função de melhorar as propriedades mecânicas, químicas e elétricas do material. É constante o crescimento do uso das ligas de alumínio nos setores industriais devido suas características, tornando-a uma escolha para inúmeras aplicações (Diniz, 2018).

Um dos principais elementos de ligas utilizados nesses processos é o silício (Si), pois sua combinação com Al diminui a temperatura de fusão, aumenta a fluidez da liga e a resistência mecânica, melhorando também a ductilidade (Wada, 2013).

O processo de fundição ocorre quando o metal fundido é vazado em um molde, que logo após se solidifica (Callister, 2021). A macroestrutura é definida pela caracterização de seus grãos cristalinos, que são classificados em três regiões durante o resfriamento da peça: zona coquilhada, tem formação de grãos cristalinos com orientações aleatórias, de pequenas dimensões, localizada junto as paredes do molde; zona colunar, contem grãos cristalinos alongados e alinhados perpendicularmente as paredes do molde e zona equiaxial, composta por grãos sem orientação preferencial e de dimensões maiores que os coquilhados (Prazeres, 2016).

A capacidade que um material tem de propagar uma corrente elétrica e determinada pela condutividade elétrica. O limite de resistência à tração (LRT) é a tensão no ponto máximo que o material resiste antes de acontecer sua ruptura (Callister, 2021). Assim, o Al é muito utilizado em linhas de transmissão de eletricidade por possuir boa condutibilidade elétrica e baixa densidade quando comparado ao cobre (Peixoto, 2001).

Portanto, o objetivo do presente trabalho consiste em produzir ligas de Al-1% e Al-2 % Si por métodos convencionais de fundição, correlacionar suas macroestruturas, avaliar as condutividades elétricas e o LRT (Limite de Resistência a Tração) dos fios após a laminação.

METODOLOGIA

Fundição e Vazamento

De início os materiais foram preparados para o processo de fundição, o cadinho utilizado no vazamento foi colocado no forno e aquecido até uma temperatura de 400 °C. Em seguida, o cadinho foi retirado do forno e pintado com caulim com objetivo de diminuir a aderência do material no cadinho Figura 1 (a). Posteriormente foram introduzidos no cadinho o alumínio e teores de 1 e 2 % de silício, onde o mesmo retornou para o forno da marca GREFORTEC Figura 1 (b) o qual foi programado para atingir uma temperatura de 900 °C, temperatura suficiente para a fundição dos elementos.

Figura 1 - (a) Cadinho pintado com caulim; (b) Forno usado na fundição.

Fonte: Autor, 2022.

Após atingir à temperatura programada de 900 °C, a mesma é mantida por uma hora e trinta minutos e logo em seguida o cadinho é retirado do forno para se realizar a homogeneização do metal fundido através de agitação manual vigorosa usando uma espátula de aço (Figura 2). Com o material homogeneizado, foi injetado argônio na vazão de 0, 2 L/s através de um tubo de aço inoxidável ligado a um cilindro de 10 mm³ durante 1 minuto, para a remoção de gases e impurezas com baixa densidade, foi formado na superfície do banho uma camada de escória que o protege contra a reincidência de gases nocivos ao banho metálico.

O metal em seguida foi vazado em um molde de coquilha cilíndrico metálico (Figura 2) e posteriormente feito o desmolde. Após o desmolde foram retiradas amostras para os ensaios metalográfico, condutividade elétrica e limite de resistência a tração.

Figura 2 - Espátula de aço e molde usados no vazamento do material. Fonte: Autor (2022).



Metalografia

No ensaio metalográfico a amostra passou por lixas de 80 a 2000 mesh, em seguida

foi polida em uma politriz moarca/modelo WEG, CFW10 (Figura 4), utilizando alumina de 1 e 0,3 microns. O ataque químico foi realizado com ácido keller de acordo com a norma ASM INTERNACIONAL 2004, para revelar a macroestrutura da liga e então seguir para análise visual.

Figura 3 - Polimento da peça.



Fonte: Autor, 2022.

Usinagem e Laminação

Parte da amostra retirada foi transformada em fios que posteriormente foram usinadas até o diâmetro de 18,5 cm. Em seguida os fios foram laminados em uma laminadora semi- industrial marca/modelo MENAC (Figura 5) até atingirem o diâmetro de 3 mm.

Figura 4 - Laminadoras utilizadas na produção dos fios.



Fonte: Autor, 2022.

Condutividade elétrica

O ensaio de condutividade elétrica foi realizado em um multiohmímetro MEGABRÁS (ponte de kelvin), modelo MPK-2000 de acordo com a norma NBR 5118, que estabelece uma temperatura superior a 10 °C e inferior a 30 °C, corrigida para a temperatura de 20 °C. Foi utilizada a equação da norma NBR 6814 para se determinar a resistividade dos fios. A distância entre as garras no fio ensaiado foi de 40 cm. Os resultados obtidos foram em seguida transformados em condutividade elétrica (IACS), “International Annealed Cooper Standard”. Padrão internacional de condutividade correspondente à apresentada por um fio de cobre com 1 m de comprimento, 1 mm² de seção transversal a 20 °C.

Limite de Resistência a Tração (LRT)

Após o ensaio de condutividade elétrica, o fio com 20 cm de comprimento foi submetido ao ensaio de limite de resistência a tração (LRT) de acordo com os parâmetros da norma NBR 6810 e NBR ISSO 6892 no intuito de avaliar suas resistências mecânicas. O ensaio foi realizado em uma máquina de ensaio de tração marca SERVOPULSER, modelo SHIMADZU.

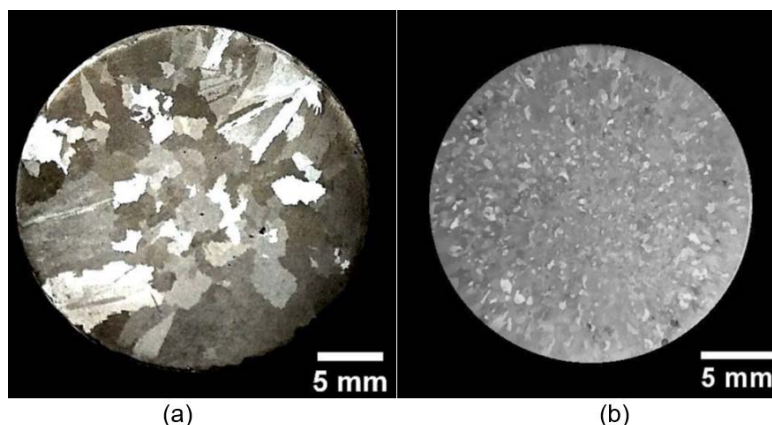
RESULTADOS

Macroestrutura

Com base nas análises realizadas, a morfologia estrutural das ligas com 1 % e 2 % de Si (Figura 5), após o processo de solidificação demonstra que a liga com 1% de Si apresenta a formação de grãos parcialmente colunares e equiaxiais, diferentemente da liga com 2 % Si observa-se a predominância de grãos equiaxiais.

Os contornos de grãos possuem as larguras de alguns poucos átomos e dentro deles existem desencontros atômicos na transição de orientação cristalina de um grão para o outro. Quando esses desencontros são pequenos, com poucos graus, recebe o nome de contorno de grão de baixo ângulo que pode ser descrito em termos de arranjo de discordâncias (Castro, 2013). Devido à propriedade refinadora do Si, a liga com 2 % possui maior quantidade de contornos de grãos que influenciou diretamente em suas propriedades mecânicas.

Figura 5 - Macroestrutura das ligas: (a) Al- 1% Si; (b) Al- 2% Si.



Fonte: Autor, 2022.

Caracterização elétrica e mecânica dos fios

Os resultados obtidos das análises de condutividade elétrica e limite de resistência a tração (LRT) das duas ligas estão presentes na Tabela 1.

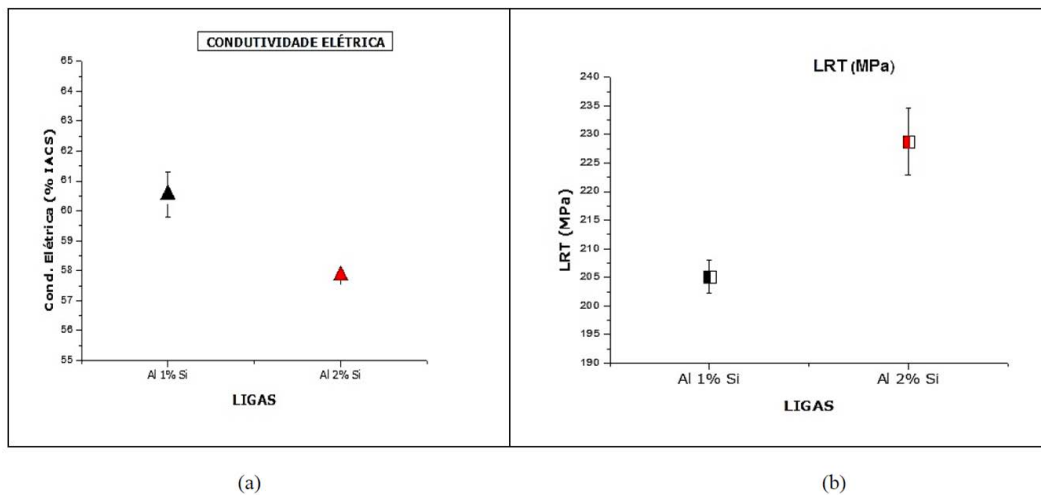
Tabela 1 - Condutividade elétrica e LRT das ligas Al- 1% e Al-2 % Si.

LIGAS	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA		LRT	
	Valor (Ω)	Desvio Padrão	Valor	Desvio Padrão
Al-1%Si	60,55	0,74	205,14	2,88
Al-2%Si	57,84	0,003	228,73	5,83

Fonte: Autor (2022).

Baseado nos resultados apresentados na Tabela 1 foi possível plotar os gráficos de condutividade elétrica e LRT adotando o diâmetro estudado e 3 mm para os fios.

Figura 6 - (a) Condutividade elétrica; (b) LRT das ligas Al- 1% e 2% Si.



Fonte: Autor (2022).

Na Figura 6 a liga com 1 % obteve o melhor desempenho na propagação de corrente elétrica, possivelmente associada a presença parcial de grãos colunares, que facilitam a passagem desta corrente elétrica, ou seja, a menor adição de Si não afeta drasticamente a capacidade de condução elétrica do alumínio puro. Na liga com 2 % de Si o tamanho do grão material influenciou diretamente nas suas propriedades mecânicas, ou seja, os grãos adjacentes possuem, normalmente, orientações cristalográficas diferentes de um contorno de grão comum. Durante a deformação plástica que ocorreu no ensaio de tração, o escorregamento acontece através desse contorno de grão comum (Castro, 2014). Este evento de acordo com a literatura implica diretamente no desempenho mecânico da liga, pois impede a movimentação das discordâncias.

Para contorno de alto ângulo pode acontecer de as discordâncias não atravessarem o contorno de grão durante a deformação, e a concentração de tensões frente ao plano de escorregamento gerar novas fontes de discordâncias nos grãos adjacentes (Callister, 2021). Assim um material que possui granulação fina é mais duro e resistente do que um material que possua granulação grosseira, uma vez que o primeiro possui uma maior área total de contornos de grão para dificultar o movimento das discordâncias.

Para muitos materiais o limite de escoamento varia com o tamanho do grão (Castro, 2014). Os fios das ligas estudadas quando submetidos ao ensaio de resistência a tração, observou-se que a liga com 2 %, apresenta maior limite de resistência, associada a presença de grãos equiaxiais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a macroestrutura do material, observa-se que quanto maior a adição do elemento de liga Si, ocorreu maior refino de grãos no material gerando maior quantidade de contornos de grãos e conseqüentemente aumentando a quantidade de discordâncias. Observado esse refino de grãos na liga com 2 % de silício que melhorou a capacidade de resistência a ruptura do material. Este evento de acordo com a literatura implica diretamente no desempenho mecânico da liga, pois impede a movimentação das discordâncias.

As análises de resistividades elétricas das duas ligas mostram que o melhor desempenho ocorreu na liga com 1 % Si, pois através de sua morfologia observa-se a presença de grãos colunares que devido a sua anatomia possuem menores quantidades de barreiras que facilitam a propagação da corrente elétrica no material.

Através do LRT do material comprovou-se que de acordo com a literatura, quanto mais finos são os grãos maior e sua resistência a fratura, sendo maior sua capacidade de deformação necessitando de mais força para romper. Neste caso a capacidade refinadora do Silício teve um resultado satisfatório, porém para esta liga com teor de 2 % Si a condutividade elétrica foi menor, justamente pela quantidade de barreiras internas (contornos de grão) que dificultaram a passagem da corrente elétrica.

Os resultados obtidos após as respectivas caracterizações feitas nas ligas de Al- 1 % e Al- 2 % Si, correlacionados com as normas e a literatura são parcialmente satisfatórios, pois quanto maior o teor de Si adicionado melhor e o desempenho mecânico da liga e menor sua resistividade elétrica. Há necessidade de outras caracterizações destes materiais visando direcionar suas propriedades a uma possível aplicabilidade dentro do setor industrial.

REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio, 2012 "Fundamento e Aplicações do Alumínio". 2 ed. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio.

American Society For Metals (ASM International), 1998. "Aluminum and aluminum alloys". v. 4. American Society for Metals - ASM Handbook.

American Society For Metals (ASM International), 2004. "Metallography and microstructures". v 9, American Society for Metals, ASM Handbook.

American Society for Testing and Materials (ASTM International E384-11), 2013. "Standard Test Method For Knoop And Vickers Hardness Of Materials".

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 5118), 2007. "Fios de alumínio 1350 nus, de seção circular, para fins elétricos". Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6810), 1981. "Fios e cabos elétricos –

Tração à ruptura em componentes metálicos”. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6814), 1986. “Fios e cabos elétricos – Ensaio de resistência elétrica”. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR ISSO 6892), 2002. “Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente”. Rio de Janeiro.

Almeida, D. T., 2013. “Estudo dos parâmetros no processo de soldagem de mistura por atrito (FSW) da liga de alumínio 5083-O. 2013. 107f”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi.

Callister JR., W. D.; Rethwisch, D. G., 2021. “Ciência e engenharia dos materiais”. Uma Introdução. 10. ed. Rio de Janeiro. LTC.

Castro. R., 2014. “Efeito do tamanho de grão em diferentes propriedades do aço AISI 1010”. Orientador (a): Elaine Carballo Siqueira Corrêa. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Engenharia de Materiais- Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Diniz, L. M., 2018. “Influência do tratamento térmico na vida em fadiga de fios de alumínio”. Orientador: Cosme Roberto Moreira da Silva. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) — Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília.

Prazeres, E. R., 2016. “Avaliação da modificação da liga base Al-Cu-Fe-Mg por teores de Ni e Ti quanto a caracterização estrutural, elétrica e mecânica, a partir de ligas solidificadas em molde u”. Orientador: José Maria do Vale Quaresma. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belém.

Peixoto, E. M. A., 2001. Alumínio. Química Nova na Escola. São Paulo, n. 13.

Wada, C. M.; Tubosaka, L. S., 2013. “Caracterização estrutural da liga de Al-1% Si”. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Grupo de Pesquisa de Engenharia de Materiais (GPEMAT) e Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais Metálicos (GPEMM) e, especialmente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Uma abordagem sustentável na arquitetura de habitações sociais

A sustainable approach to social housing architecture

Bárbara Cavalcante Brandão

RESUMO

A abordagem sustentável na arquitetura de habitações sociais tem o potencial de melhorar a qualidade de vida das comunidades quanto a preservação do meio ambiente. A adoção de materiais sustentáveis e práticas construtivas contribui para a preservação dos recursos naturais, minimizando o desperdício e a degradação ambiental. Diante disso surge a pergunta, qual o benefício do uso de materiais sustentáveis aplicados na arquitetura para projetos de habitação social? Esse trabalho se justifica pela necessidade de compreender as vantagens do uso de materiais sustentáveis aplicados na arquitetura, mais especificamente, na produção arquitetônica de habitações de interesse social. Sendo assim, o objetivo geral dessa pesquisa é estudar a importância da arquitetura sustentável e os benefícios do uso de materiais sustentáveis aplicados em projetos de habitação de interesse social. E como objetivos específicos, descrever brevemente o impacto da construção civil no meio ambiente, apresentar o conceito da arquitetura ambiental e da arquitetura sustentável e suas principais características, abordar estratégias arquitetônicas que promova a sustentabilidade e por fim, apresentar a importância do uso de materiais sustentáveis para a qualidade de projetos arquitetônicos de habitações sociais. O estudo é direcionado através de pesquisas exploratórias e pesquisas bibliográficas, que são elaboradas com base em material já publicado, por meio de revistas, publicações, documentos e imagens. Portanto, ao abordar questões críticas relacionadas à preservação ambiental, o artigo busca inspirar arquitetos, urbanistas e legisladores a adotarem abordagens holísticas e sustentáveis na criação de ambientes habitacionais inclusivos e ecologicamente responsáveis.

Palavras-chave: sustentabilidade; habitação de interesse social; construção civil.

ABSTRACT

The sustainable approach in the architecture of social housing has the

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 10

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.7



potential to improve the quality of life of communities while preserving the environment. The adoption of sustainable materials and construction practices contributes to the preservation of natural resources, minimizing waste and environmental degradation. Given this, the question arises, what is the benefit of using sustainable materials applied in architecture for social housing projects? This work is justified by the need to understand the advantages of using sustainable materials applied in architecture, more specifically, in the architectural production of social housing. Therefore, the general objective of this research is to study the importance of sustainable architecture and the benefits of using sustainable materials applied in social housing projects. And as specific objectives, briefly describe the impact of civil construction on the environment, present the concept of environmental architecture and sustainable architecture and its main characteristics, address architectural strategies that promote sustainability and finally, present the importance of using sustainable materials for the quality of architectural projects for social housing. The study is directed through exploratory research and bibliographic research, which are prepared based on already published material, through magazines, publications, documents and images. Therefore, by addressing critical issues related to environmental preservation, the article seeks to inspire architects, urban planners and policymakers to adopt holistic and sustainable approaches in creating inclusive and ecologically responsible housing environments.

Keywords: sustainability; social interest housing; construction.

INTRODUÇÃO

A relação do homem com a natureza ultrapassa a parcialidade, enquanto composição de matérias naturais, o ser humano representa a própria natureza. No modelo atual de produção, a busca alucinada pela rentabilidade vem criando diferentes maneiras do ser humano se relacionar com o seu meio, e, em sua maioria, representa a individualidade do capital. Segundo Albuquerque (2007), a atitude da sociedade atual representa uma história de omissão sobre a produção industrial e o consumo de massa. A exagerada corrida pelo lucro além da segregação social, desune o próprio ser da sua essência natural. A vida acelerada nega a dimensão emblemática dos problemas ambientais, e mesmo com uma biodiversidade extraordinária, o ritmo de uso não alcança o espaço de tempo suficiente para que o meio possa se reabastecer.

A indústria da construção civil por sua vez, é uma das engrenagens dos setores mais lucrativos para o desenvolvimento econômico, por outro lado, é também, a principal responsável pela produção de impactos nocivos, desde o desgaste ao meio, com a extração e geração de resíduos (Gasques *et al.*, 2014).

Como condição de um sistema, a sustentabilidade integra um conjunto de atitudes que almeja manter a vitalidade do meio ambiente, a concepção sobre preservação do ecossistema permite a continuidade e reprodução da vida, suprimindo as necessidades atuais da sociedade sem comprometer o das gerações futuras, consiste em harmonizar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental (Boff, 2017).

A arquitetura é mais comumente reputada pela interdisciplinaridade, sua sensibilidade representa o zelo nas questões relativas aos espaços produzidos para o desfrute humano e suas relações afetivas do lugar com os vários aspectos psíquicos do

indivíduo. O debate sobre a relação da arquitetura com o espaço prolongou e hoje não está associada apenas a produção, para Ricoeur (2021), a arquitetura é semelhante a narratividade, onde representa a relação com o espaço através do construir e edificar e o narrar por meio do tempo. Tal paralelismo no ato arquitetônico permuta a relação do espaço/tempo, esse relaciona o habitar a espécie dos lugares da vida, que contornam a presença do corpo vivo e sua relação com o tridimensional.

Desde sempre a racionalidade da arquitetura foi o responsável pelo planejamento e pela organização funcional da sociedade, essa definição de qualidade aos poucos foi sendo associada ao ambiente. Segundo Thornberg (2004) o conceito de lugar é sempre o lugar de algo ou alguém, e a resposta dessa comunicação são as inter-relações sensoriais que o ser humano desenvolve. Hoje, o local que permite essa autorreflexão são as próprias habitações, e apesar da prerrogativa à moradia ser reconhecida como fundamental, um dos maiores entraves sociais da gestão pública, é a aplicação de políticas sociais no desenvolvimento da produção de lares dignos para a população de interesse social, direcionados ao controle do déficit habitacional e conseqüentemente a qualidade de vida.

Atualmente, as políticas públicas além de não abranger a demanda habitacional de qualidade, não contribuem para a melhoria ambiental urbana. É essencial a implicação de políticas para o controle do déficit habitacional, no entanto, de nada adianta a visão mercantilista para apenas a produção de moradias padronizadas que não atendem a necessidade dos usuários e nem valoriza os condicionantes físicos do local. Como explica Silva *et al.* (2019), além da problemática da falta de moradia, os métodos produtivos utilizados contribuem ainda mais para a geração de resíduos e descarte de maneira cada vez mais prejudicial.

Devido a isso, surgiu a seguinte pergunta: Qual o benefício do uso de materiais sustentáveis aplicados na arquitetura para projetos de habitação social?

Esse trabalho se justifica pela necessidade de compreender as vantagens do uso de materiais sustentáveis aplicados na arquitetura, mais especificamente, na produção arquitetônica de habitações de interesse social. A investigação dessa temática valida a relevância em entender que a arquitetura está diretamente relacionada à construção civil, que representa um dos maiores responsáveis pela produção por impactar negativamente o meio ambiente. Conseqüentemente, enaltecendo a ressignificação do vínculo entre o meio ambiente e o ser humano.

OBJETIVOS

Sendo assim, o objetivo geral dessa pesquisa é estudar a importância da arquitetura sustentável e os benefícios do uso de materiais sustentáveis aplicados em projetos de habitação de interesse social. E como objetivos específicos: descrever brevemente o impacto da construção civil no meio ambiente, apresentar o conceito da arquitetura ambiental e da arquitetura sustentável e suas principais características, abordar estratégias arquitetônicas que promova a sustentabilidade e por fim, apresentar a importância do uso de materiais sustentáveis para a qualidade de projetos arquitetônicos de habitações de interesse social.

METODOLOGIA

O conceito de pesquisa é definido pela busca racional e sistemática por soluções de determinado problema, visto que é um modo requerido pela insuficiência de respostas para a problemática ou então pela ampliação de conteúdos e aplicação de novos métodos relacionados à questão. Sua classificação é associada ao direcionamento pelo assunto abordado em comum e pelo mecanismo dos instrumentos para a coleta de dados (Gil, 2017).

Para a realização da tese e desenvolvimento dos objetivos, o método utilizado será a pesquisa exploratória, que segundo Gil (2017, p.41) têm como intuito “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”. E a pesquisa bibliográfica que é elaborada com base em material já publicado, por meio de revistas, publicações, documentos e imagens.

MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor civil, hoje no Brasil representa um grande impulsionador da economia do país. De acordo com a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias, Abrainc (2023) a construção civil representa em torno de 7% da economia do Brasil, além de contribuir cerca de 10% de empregos para os trabalhadores brasileiros. Acompanhando os lançamentos do produto Interno Bruto (PIB) do setor, percebe-se ainda uma variação, em 2021 teve um crescimento de 10%, 2022 se encerra com 6,9% e estima-se para 2023, cerca de 2,4% (Bonatelli, 2022). Mesmo com o desaquecimento apresentado, o impacto do mau gerenciamento dessa área é crescente quanto a degradação ambiental. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2022) o ramo da construção é o principal consumidor de recursos naturais e energia, além de ser o grande responsável por mais de 50% dos resíduos sólidos providos das ações humanas.

De acordo com o relatório da Abrelpe (2018), os dados coletados dos descartes de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), destacam que os centros brasileiros produziram uma média de 79 milhões de toneladas de resíduos e desses, apenas 92% foram coletados. A pesquisa ainda mostra que desse total retirado 59,5% foram com oados em aterros sanitários de modo ordenado e cerca de 40,5% tiveram seu despejo de maneira irresponsável em lixões despreparados. Esses dados revelam o motivo pelo qual a construção civil é um dos setores responsáveis pela maior parte dos impactos ambientais globais.

Superar esses desafios exige a colaboração dos profissionais da arquitetura, da construção civil e da gestão o comprometimento para a sensibilização sobre a sustentabilidade e o paisagismo. À medida que a conscientização sobre a importância dessas áreas cresce e as soluções se tornam mais acessíveis, os desafios podem ser minimizados e a integração com a arquitetura se tornam cada vez mais praticáveis.

ARQUITETURA AMBIENTAL E ARQUITETURA SUSTENTÁVEL

Ao longo dos anos, os papéis da arquitetura começaram a representar as

necessidades que a humanidade desenvolvia, um desses novos conceitos cresceu a partir das consequências da revolução industrial com o consumo dos recursos naturais em prol da produção em larga escala. Essa crise biossistemática despertou no homem uma inquietação que o fez desenvolver técnicas com foco em estudos para soluções do problema ambiental, assim um novo conceito que abrange o respeito ao meio ambiente e ao ser humano, a arquitetura ambiental (Castelnou, 2022).

O conceito de sustentabilidade foi sendo moldado no decorrer do tempo, permanecendo sempre com princípio central, o zelo da relação do homem com sua natureza. Para Porto *et al.* (2018), a sustentabilidade é definida pelo processo de continuidade e preservação de todo processo realizado no meio ambiente. A arquitetura sustentável, dessa forma, significa a utilização de técnicas construtivas que sejam ambientalmente responsáveis na minimização de qualquer tipo de poluição ambiental. Visto isso, uma sociedade que visa o desenvolvimento sustentável compromete-se a exploração dos recursos naturais para a promoção de atividades socioeconômicas, no entanto, com a preocupação da vida útil dos portadores de sua matéria prima. Com isso, a preocupação ambiental retomou sua importância para o projeto de arquitetura, tanto na área prática, como na academia, descrito por Corbella e Yannas (2003, p. 17):

A arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações.

A visão em promover a sustentabilidade em seus diversos âmbitos, reúne apenas um princípio, a busca em incorporar qualidade de vida aos usuários, diminuindo o uso de materiais naturais, de maneira que contribua para a diminuição dos impactos ao meio ambiente. Segundo Melo (2016), a arquitetura sustentável é uma dessas áreas que almeja pela minimização do impacto ambiental, tem como princípio e objetivo a utilização de técnicas para o reaproveitamento dos materiais dispostos abundantemente do meio. Otimizar os recursos naturais no ramo da construção civil significa contribuir para a interação do homem com a natureza, devendo ser impulsionado também pelo poder público. Edifícios verdes ou sustentáveis representa uma maneira limpa de projetar, introduzindo tecnologias no uso de materiais para criar concepções inteligentes.

Após tanto descaso e concentração apenas no retorno financeiro, atualmente vivemos na era do reaproveitamento. A introdução do conceito sustentável e paisagístico na arquitetura tem realçado a busca pela recuperação de técnicas e materiais de construção tradicionais, simultâneo a procura de medidas que melhorem o desempenho do edifício através do seu entorno. De acordo com Cadorin e Mello (2011), as melhorias ambientais ocasionadas pelas áreas verdes amenizam o processo sistemático das cidades urbanizadas, os estímulos sensoriais da arborização proporciona à população conforto e qualidade de vida, desde a presença da luz, das cores, aromas, sabores, formas tornam os espaços otimizados e saudáveis para o cotidiano.

Estratégias Arquitetônicas

A arquitetura sustentável por sua vez, tem representado essa preocupação das construções com os ciclos naturais do meio ambiente. A definição de arquitetura já está associada a qualidade de planejamento de uma moradia e de um espaço urbanizado, a introdução da sustentabilidade permite a aparição da natureza como também uma fonte de inspiração, e para que o progresso dessa relação se perpetue, essa abordagem deverá manter uma harmonia que integre os edifícios ao entorno natural de maneira equilibrada, minimizando o impacto sobre os ecossistemas (Serber; Cadore, 2018).

A preocupação sustentável dentro da arquitetura representa uma série de aspectos passíveis de aplicação na rotina de um planejamento, beneficiando sua execução e, posteriormente, a comunicação edificada com o meio que o envolve. Imersos nessa área, alguns ângulos são observados. Segundo Serber e Cadore (2018), o papel do arquiteto e urbanista na preocupação ambiental indica uma relação intrínseca com os aspectos econômicos e sociais, abrangendo a ligação entre o projeto e sua influência no modo como os indivíduos se relacionam, compreendendo uma qualidade abrangente para o ser e sua espacialização do meio ambiente.

Para Righi *et al.* (2016), uma das principais dificuldades que confronta o avanço da prática dos métodos sustentáveis no exercício da construção civil, ainda é a falta de reconhecimento e incentivo do poder público, que dificulta a acessibilidade financeira de materiais e o preconceito quanto a falta de informação. Contribuindo para a difusão de ideias rasas sobre o próprio relacionamento com suas habitações e com meio ao redor, principalmente para as pessoas que não possuem condições econômicas para melhorarem sua qualidade de vida em seu espaço.

Conforto Ambiental e o impacto no microclima

Considerando a influência que a sustentabilidade vem abordando na arquitetura, questões essenciais são evidenciadas. O conforto ambiental é frequentemente considerado um dos fatores mais importante que influencia o meio urbano e seus arredores.

Para Alves (2017), os dois principais fenômenos relacionados ao clima urbano estão na alteração dos ventos locais e o relativo aumento na temperatura. Segundo o pesquisador, cada cidade pode gerar seu próprio clima, e este será moldado de acordo com o processamento urbano. O efeito das ilhas de calor é uma das respostas do processo, estão relacionados a concentração de altas fontes de calor, como o próprio dinamismo de urbanização do local, as consequências da pavimentação das ruas, a movimentação e uso frenético de veículos e impactos industriais.

O tipo de cobertura das superfícies também é um fator. Em áreas densamente construídas e com vegetação escassa, observa-se um aumento crescente da temperatura. Segundo Albuquerque e Lopes (2016), espaços verdes são influenciadores do microclima, o aproveitamento da vegetação além de contribuir esteticamente, colabora no ajuste da temperatura, poluição sonora, na redução da erosão e proteção do solo, além de favorecer na ventilação, com o sombreamento e passagem da brisa local. Todos esses fatores afetam diretamente na promoção da biodiversidade e no equilíbrio emocional dos envolvidos.

Outro importante fator contribuinte para o conforto térmico está relacionado à tonalidade das cores. Além das questões físicas que abrangem a reflexão da luz, a emissão e absorção de calor, a sensação térmica pode variar dependendo da cor utilizada. Quando uma superfície é aquecida, a temperatura do ar ao seu redor também é alterada. Portanto, cores escuras no exterior podem aumentar os ganhos de calor, enquanto cores claras dilatam sua radiação solar, além de contribuir com o ganho de iluminação natural se aplicadas no interior do local, conforme relata Dornelles (2008).

Segundo Goulart (2016), a ventilação é mais um processo responsável pela difusão de qualidade do espaço. Possui duas funções principais, a renovação do ar quente e o resfriamento dos ocupantes, na prática, essa movimentação permite que haja circulação e que todos os envolvidos no espaço possam desfrutar de um ambiente luminotécnico agradável. A ventilação cruzada, uma das mais recomendadas, proporciona bem-estar e conforto térmico, além de ser um dos princípios da arquitetura sustentável e acessível para todos.

O USO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

A habitação é um espaço que aborda todas as demandas básicas do ser humano, mantendo sua segurança e dignidade. O acesso às habitações de interesse social está cada vez mais seguindo um padrão construtivo que, além de não contribuir com recursos para o meio ambiente, também especifica um protótipo que não atende às necessidades emocionais de seus moradores. Com tantas discussões sobre a importância da sustentabilidade e a necessidade de um sistema habitacional que busque uma qualidade associada, a série de materiais abordados deve seguir vários requisitos. Além de contribuir para o meio ambiente, devem buscar acessibilidade quando à sua aquisição (Silva *et al.*, 2018).

Após tanto descaso e concentração apenas no retorno financeiro, atualmente vive-se na era do reaproveitamento. A introdução do conceito sustentável e paisagístico na arquitetura tem realçado a busca pela recuperação de técnicas e materiais de construção tradicionais, simultaneamente à procura de medidas que melhorem o desempenho do edifício através de seu entorno. De acordo com Cadorin e Mello (2011), as melhorias ambientais ocasionadas pelas áreas verdes amenizam o processo sistemático das cidades urbanizadas. Os estímulos sensoriais da arborização proporcionam à população conforto e qualidade de vida, desde a presença da luz, das cores, aromas e sabores até as formas, tornando os espaços otimizados e saudáveis para o cotidiano.

A inclusão da arquitetura paisagística e sustentável em habitações de interesse social, através de áreas verdes, jardins e da preocupação material para o custeio e preservação, melhora significativamente a qualidade de vida dos usuários. Segundo Cavalcanti (2023), o projeto de arquitetura sustentável compreende a elaboração do edifício como parte do habitat vivo. A sensibilidade da construção está estreitamente ligada à produção com menos impactos e ao planejamento exclusivo de ganhos sociais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É preciso compreender que o verdadeiro desenvolvimento econômico está entrelaçado com uma série de avanços tecnológicos e demandas que as sociedades exigem. Nesse contexto, uma produção construtiva sem planejamento sustentável alimentará apenas a manufatura em massa e não a qualidade. A implementação de soluções sustentáveis representa o uso eficiente em relação aos recursos disponíveis da natureza, impactando na saúde e bem-estar de todos ao redor, além de contribuir para a qualidade ambiental e o progresso futuro.

Devido a isso, tratar uma habitação de interesse social projetada com uma arquitetura que desenvolva técnicas sustentáveis significa planejar uma ação projetual que cuide da qualidade de vida interna e do meio que está inserido. O papel do tema abordado é necessário para justificar a importância da natureza como precursora da vida humana, pois o contato do verde com o cotidiano do ser humano, principalmente quando esses espaços são preservados, torna-se essencial para que o homem possa prosperar e sobreviver com base em tudo que o meio ambiente oferece.

Portanto, o papel da arquitetura sustentável na qualidade de projetos de habitação de interesse social no Brasil é essencial para a difusão de moradias dignas que possam atender às necessidades básicas das populações mais carentes. É mediante a escolha de técnicas sustentáveis que a qualidade de projetos habitacionais populares pode ser alcançada de fato, combatendo a associação das produções de moradia como atributo apenas financeiro e evidenciando a implementação de procedimentos construtivos benéficos para o espaço residencial, além de beneficiar o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Bruno Pinto de. **As relações entre o homem e a natureza e a crise socioambiental**. Rio de Janeiro, RJ: 2007. Disponível em: <https://www.epsjv.fiocruz.br/upload/monografia/13.pdf>. Acesso: 20 mai 2023.
- ALBUQUERQUE, Marcos Machado de; LOPES, Wilza Gomes Reis. **Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí**. Curitiba: Revista Ra'e Ga, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/39719>. Acesso em: 27 ago 2023.
- ALVES, Elis Dener Lima. **Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas**. Vol. 20. Goiás: Revista Brasileira de Climatologia, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/46190>. Acesso em: 27 ago 2023.
- ASSOCIAÇÃO brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2018.
- ASSOCIAÇÃO brasileira de incorporadoras imobiliárias (ABRAINCO). **PIB da Construção tem alta de 6,9% em 2022 e puxa crescimento da economia**. São Paulo, SP: 2023. Disponível: <https://www.abrainco.org.br/construcao-civil/2023/03/02/pib-da-construcao-tem-alta-de-69-em-2022-e-puxa-crescimento-da-economia>. Acesso em: 26 ago 2023.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=px46DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=>

- PT2&dq=sustentabilidade&ots=bEyllzb7u9&sig=TisV9OBHVms9N4M9weLqgOezFs0#v=onepage&q=sustentabilidade&f=false. Acesso em: 26 ago 2023.
- BONATELLI, Circe. **PIB da construção deve crescer 2,4% em 2023, de acordo com Sinduscon-SP e FGV**. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/sinduscon-sp-e-fgv-estimam-alta-de-24-para-pib-da-construcao-em-2023/>. Acesso em: 28 ago 2023.
- CADORIN, Acco; MELLO, Nilvania, Aparecida de. **Impermeabilização dos solos sobre a arborização no município de Pato Branco-PR**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2011, p, 1-8.
- CASTELNOU, Antônio Manuel N. **Arquitetura esustentabilidade na sociedade de risco** Revista Terra e Cultura. nº 42. p, 129-141. 2020. Disponível em: <http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/1353>. Acesso em: 28 ago 2023.
- CAVALCANTI, Lorena. **Arquitetura sustentável – O que é um projeto sustentável?** Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura (IBDA). Fórum da Construção. 2023, São Paulo. 2023.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva**. Campinas, SP: 2008.
- GASQUES, Ana Carla Fernandes *et al.* **Impactos ambientais dos materiais da construção civil: Breve revisão teórica**. v. 23, p. 13-24. Maringá, PR: 2014. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/23375/14566>. Acesso em: 26 ago 2023.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- Goulart, Solange. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. 2016. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf. Acesso em: 27 ago 2023.
- MELO, Dauzirlene Amaral de. **Arquitetura e Sustentabilidade: Projeto arquitetônico de um restaurante ecológico em Ferreira Gomes no Estado do Amapá**. Santana, Amapá: 2016. Disponível em: <https://www2.unifap.br/arquitetura/files/2020/08/Melo-2016-Arquitetura-e-sustentabilidade-Projeto-arquitet%C3%B4n.pdf>. Acesso em: 27 ago 2023.
- MINISTÉRIO do meio ambiente. **Construção Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 26 ago 2023.
- PORTO, Vania Pereira *et al.* **Telhados verdes: alternativa sustentável em arquitetura de residências unifamiliares**. Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG. 6º Simpósio de Sustentabilidade e Contemporaneidade nas Ciências Sociais. 2018.
- RICOEUR, Paul. **Arquitetura e Narratividade**. 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geograficidade/article/view/50793/29575> Acesso em 19 mai 2023.
- RIGHI, Débora Pedroso *et al.* **Cobertura verde: um uso sustentável na construção civil**. Edição 04. Santa Catarina: 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/pdf>. Acesso em: 27 ago 2023.
- SERBER, Evandro Luis Vieira; CADORE, Analu. **Arquitetura Sustentável em Curitiba IX Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica**, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR Curitiba:PR, 2018.

SILVA, Daniele Santos *et.al.* **Arquitetura modular para habitação de interesse social (his) com a utilização de materiais alternativos: criação e análise na cidade de salgueiro**, 2019. Instituto Federal Serão pernambucano, Campus Floresta: PE, 2019.

SILVA, Mateus Zuffo Melo da *et al.* **O uso de materiais alternativos em habitações de interesse social**. 2018. Disponível em: [https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018.\(7385\).pdf](https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2018.(7385).pdf). Acesso em: 28 ago 2023.

THORNBERG, Josep Muntanya. **La arquitectura como lugar**. 1. ed. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya – UPC, 2004. 226 p.

A internet das coisas e a gestão logística na coleta de resíduos sólidos

Lilian Regina Gomes da Silva

RESUMO

A Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) tem sido considerada uma ferramenta efetiva no auxílio à gestão inteligente para auxiliar nas tomadas de decisões confiáveis e assertivas, permitindo melhorar a qualidade da gestão dos recursos de forma a atingir resultados positivos, não somente na área social, mas também na esfera econômica, sendo utilizada não somente por gestores públicos, mas, também, em domicílios, indústrias entre outros, por meio de hardware e software. Logo, a Internet das coisas (Internet of Things - IoT) torna-se uma ferramenta de relevante potencial no controle da gestão inteligente, proporcionando a eficácia dos recursos computacionais e a interconexão a objetos comuns do cotidiano, utilizando-se computação ubíqua por meio de tecnologias de comunicação e redes de sensores para a realização de atividades específicas. A Gestão inteligente de resíduos (Smart Waste Management - SWM) inclui a possibilidade de monitorar recipientes (lixeiros), bem como planejar as rotas dos transportes de coleta até o seu destino final, auxiliando no controle logístico, inclusive permitindo mensurar os picos sazonais da produção de lixo.

Palavras-chave: gestão logística; resíduos sólidos; IOT.

ABSTRACT

Information and Communication Technology (ICT) has been considered an effective tool in aiding intelligent management to assist in making reliable and assertive decisions, allowing to improve the quality of resource management to achieve positive results, not only in the social area, but also in the economic sphere, being used not only by public managers, but also in homes, industries, among others, through hardware and software. Therefore, the Internet of Things (IoT) becomes a tool with relevant potential in controlling intelligent management, providing the effectiveness of computational resources and interconnection with common everyday objects, using ubiquitous computing through communication technologies and networks of sensors to carry out specific activities. Intelligent Waste Management (SWM) includes the possibility of monitoring containers (dumps), as well as planning transport routes from collection to the final destination, assisting in logistical control, including allowing the measurement of seasonal peaks in waste production.

Keywords: Logistics management; solid waste; IOT.



INTRODUÇÃO

Partindo da premissa de que há uma necessidade célere de vislumbrar uma forma de amenizar os efeitos causados ao meio ambiente devido à previsão do aumento populacional mundial, considerando que os recursos nativos são limitados, sendo viável o reaproveitamento de resíduos, transformando o “lixo” em “riqueza”, o uso da Internet das Coisas (IoT) pode ser destacado como um importante facilitador dos processos de gestão inteligente de resíduos sólidos da cidade. Portanto, este projeto tem como objetivo analisar, a princípio, as perspectivas teóricas sobre “a usabilidade da IoT na gestão logística de coleta de resíduos sólidos” por meio da revisão sistemática da literatura de artigos publicados no período do ano 2014 a 2022, tendo em vista a apresentação de uma agenda para futuras pesquisas. O público-alvo a quem interessa essa pesquisa são os profissionais da área de Tecnologia de Informação e de Gestão Ambiental.

METODOLOGIA

O procedimento para coleta de dados escolhido para ser utilizado no estudo é a pesquisa bibliográfica, conforme Gil (2008), que será organizada com base em livros e artigos científicos, possibilitando amplo acesso a materiais concernentes ao tema em epígrafe. Será utilizada a pesquisa de tendências disponível no Google (Google Trends) para análise de buscas sobre a Internet das Coisas e Cidades Inteligentes, e, posteriormente, serão pesquisados artigos referentes ao uso de IOT na coleta de resíduos.

REVISÃO DA LITERATURA

Fundamentação Teórica

A princípio, o referencial teórico desta pesquisa consistirá na análise de artigos cujos autores que desenvolvem estudos e discutem questões sobre cidades inteligentes e o uso da IoT na coleta de resíduos sólidos, bem como a análise dos resultados obtidos em projetos inteligentes voltados à sustentabilidade.

Segundo Rosa, o resíduo sólido é todo o material em estado sólido ou semissólido que pode ser reaproveitado de acordo com a sua composição (Rosa, 2012). Garcia *et al.* (2015) define resíduos sólidos como materiais cuja vida útil para utilização em atividades antrópicas se esgota. De acordo com a FUNASA, é imprescindível a organizar os resíduos sólidos conforme sua origem e periculosidade para que sejam utilizadas as técnicas adequadas de manejo que atenuam a degradação ambiental (FUNASA, 2014).

Considerando o padrão de consumo insustentável, a imprescindibilidade do surgimento de estratégias para tratar os problemas resultantes das cidades e a necessidade de promover o desenvolvimento tecnológico sustentável suscita o princípio de cidades inteligentes, ou Smart Cities, no intuito de otimizar a gestão das cidades, considerando a população e os indicadores de qualidade de vida (ADAPA, 2018).

Cidades Inteligentes (Smart Cities) podem ser definidas como sistemas nos quais

seus cidadãos, por meio de tecnologias de informação e comunicação, interajam e utilizem seus ativos, estimulando o desenvolvimento econômico e melhora na qualidade de vida (Shyam *et al.*, 2017). Neste sentido, consideram-se ativos em cidades inteligentes, de forma geral, seus sistemas de informação e comunicação, bibliotecas, escolas, hospitais e sistemas de transporte.

O modelo de smart cities proporciona a uma cidade a utilização de sua infraestrutura e serviços no planejamento para tomadas de decisão à gestão urbana, auxiliando a otimizar medidas socioeconômicas (Pardini *et al.*, 2019).

Albino *et al.* (2015) constatou as primeiras medidas referentes ao monitoramento de sustentabilidade em 2013, em que se aferia a qualidade de vida, o índice de felicidade da população, o crescimento econômico, dentre outros indicadores., que derivou o conceito de cidade inteligente, utilizando dados e tecnologia da informação para a prestação de serviços, buscando a melhoria contínua do desempenho e da qualidade e eficiência da cidade, otimizando a infraestrutura e estimulando modelos de negócios inovadores no setor público ou privado.

Neirotti *et al.* (2014) citaram como exemplo de usabilidade dos objetos inteligentes nas Smart Cities: gestão de água e de resíduos; redes de energia; iluminação pública; transporte; mobilidade e logística; ambiente; recursos naturais; escritórios e edifícios residenciais; cuidados de saúde; segurança pública; educação e cultura; inclusão social e bem-estar; administração pública e governo e economia. O uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) foram destacadas como recursos úteis para a solução de problemas urbanos como poluição do ar, os congestionamentos e a gestão de resíduos (Ahvenniemi *et al.*, 2017). As TICs permitem a obtenção de dados de diferentes fontes (sensores) para alarmar e agir, sendo que as informações coletadas pelos dispositivos podem ser correlacionadas, analisadas e utilizadas para a implementação de processos de planejamento e controle que aprimoram a produtividade e a segurança nas decisões demandadas aos gestores públicos (Neirotti *et al.*, 2014).

Internet das coisas, do inglês Internet of Things (IoT), é um conceito que visa proporcionar poder computacional e interconexão a objetos comuns do cotidiano (Santos, 2016). Os objetos que utilizam a IoT se tornam inteligentes, utilizando computação ubíqua, tecnologias de comunicação e redes de sensores para a realização de atividades específicas (Al-Fuqaha, 2015). As informações geradas por esses aparelhos podem ser enviadas para servidores, auxiliando as pessoas no planejamento e nas tomadas de decisões.

Para que seja considerado objeto inteligente, ou seja, estar inserido no conceito de internet das coisas, o dispositivo ou aparelho deve conter as características específicas (Filho, 2016) que são:

- Processamento: é relativo a realizações de monitoramento e direcionamento nas tomadas de decisões;
- Endereçamento: permite a localização do objeto na rede IOT;
- Identificação: responsável pela identificação de cada objeto;
- Localização: trata-se do local onde o objeto está situado geograficamente;

- Comunicação: capacidade de trocar informações com outros objetos na rede;
- Cooperação: interatividade e integração entre os aparelhos que foram definidos para auxiliar as atividades;
- Sensoriamento: capacidade do objeto em perceber variações em grandezas do ambiente e transformá-las em dados;
- Atuação: produzir ação ou movimentos de acordo com a aplicação.

Este conceito pode ser aplicado em diversas áreas, como indústria, saúde, segurança, meio ambiente e cidades (Silva, 2017). Cada vez mais cidades estão adotando sistemas inteligentes integrados com IoT por demonstrarem resultados satisfatórios nessas áreas, sendo utilizados, também, na gestão de consumo de energia de residências, iluminação pública, gestão da água, gestão de resíduos, entre outras.

As TICs são implementadas para detectar, coletar, armazenar, coordenar, integrar, processar, analisar, sintetizar, manipular, modelar, simular, gerenciar, trocar e compartilhar dados urbanos, objetivando monitorar, entender, investigar e auxiliar no planejamento dessas cidades auxiliando-as a atingir seus objetivos específicos. As TICs são compostas por componentes de hardware (sensores, GPS, infravermelhos; redes; computação em nuvem; computadores; smartphones; e outros) e software (aplicativos de software, incluindo técnicas de análise de Big Data, aprendizado de máquina – Machine Learning -, análises estatísticas; métodos de integração e gerenciamento de banco de dados, modelagem; simulação; e outras) (Bibri; Krostie, 2017).

A Gestão inteligente de resíduos (SWM) abrange o monitoramento de recipientes (lixeiros) e planejamento de rota dos transportes coletores até seu destino final, possibilitando implementar logísticas mais eficientes para a coleta, bem como picos sazonais de produção de lixo. A otimização automática, também, permite desenvolver algoritmo de Inteligência artificial para determinar a melhor rota para tráfego dos caminhões de coleta que também contém sensores instalados para um melhor entendimento da operação de coleta (Almeida, 2019). Os sensores que são, frequentemente, mais utilizados para planejamento de coletas e operações de recuperação de resíduos é o RFID, que realiza a identificação de características por radiofrequência (Alavi *et al.*, 2018); bem como, o GPS para identificar a localização dos compartimentos com resíduos, otimizando rotas para os veículos responsáveis pelas coletas (Shah *et al.*, 2018); e, então, o sensor GIS, que tem o propósito de apresentar os dados coletados com as tecnologias utilizadas através do hardware e do software, realizando, posteriormente, a análise espacial (Pérez; Delhoyo, 2017).

O município de Santander, localizado na região norte da Espanha dispõe de 5000 sensores para o monitoramento dos recipientes de coletas de resíduos sólidos (containers), que informam sua localização, características e nível de enchimento em real time (Díaz-Díaz *et al.*, 2017), permitindo que seja programada uma rota para recolhimento desses resíduos, diminuindo a incidência de deslocamentos desnecessários da frota para este fim.

Em Copenhague também foi implantado o sistema de coleta seletiva de resíduos utilizando sensores nos containeres de coleta de resíduos sólidos, utilizando a comunicação via LoRa na coleta de Lixo (Mikkelsen, 2018).

ESTUDO DE CASO

Situação Problema

Neste capítulo serão realizadas as pesquisas referentes à Internet das Coisas e a Cidades Inteligentes utilizando o Google Trends, e, posteriormente, serão analisados os artigos relativos à IoT na gestão de coleta de resíduos sólidos, sendo relacionadas as tecnologias utilizadas em cada estudo, por meio de uma pesquisa nas plataformas Google Acadêmico, é uma ferramenta de busca específica para literatura acadêmica, que rastreia uma variedade de fontes, incluindo artigos revisados por pares, teses, livros, resumos e artigos, fontes de editoras acadêmicas, sociedades profissionais, repositórios online, universidades e outros sites de entidades educacionais; e Hindawi, que é uma plataforma de publicação acadêmica dedicada a fornecer acesso aberto a uma ampla gama de periódicos revisados por pares em diversas áreas do conhecimento.

Etapas do Desenvolvimento do Estudo de Caso

Primeiramente, foi realizada a análise dos dados contidos no Google Trends por período (Figura 2) e por região (Figura 3), sendo verificado que as pesquisas em relação ao tema “Internet das Coisas” comparando ao tema “Cidades Inteligentes”, sendo delimitado o período de janeiro de 2021 a 2023, somente no Brasil, sendo verificado que no mês de abril de 2021 a procura pelo tema “Cidades inteligentes” superou a procura pelo tema “Internet das Coisas”, todavia as pesquisas em relação a ambos os temas têm seguido em paralelo nas tendências do Google.

Quanto à seleção de artigos para estudo, foram selecionados aqueles que foram amplamente citados, ou seja, filtrados por relevância, conforme banco de dados da plataforma Hindawi e do Google Acadêmico (Figura 4), destacando-se em relevância na área pesquisada, delimitando o período entre os anos 2020 e 2022, sendo selecionados quatro artigos: Khan *et al.* (2021), Kang *et al.* (2020), Ferrari *et al.* (2020), Khoa *et al.* (2020).

Figura 2 - Pesquisas pelos termos “Internet das Coisas” e “Cidades Inteligentes” - Comparação por período.



Figura 3 - Pesquisas pelos termos “Internet das Coisas” e “Cidades Inteligentes” - Comparação por região.

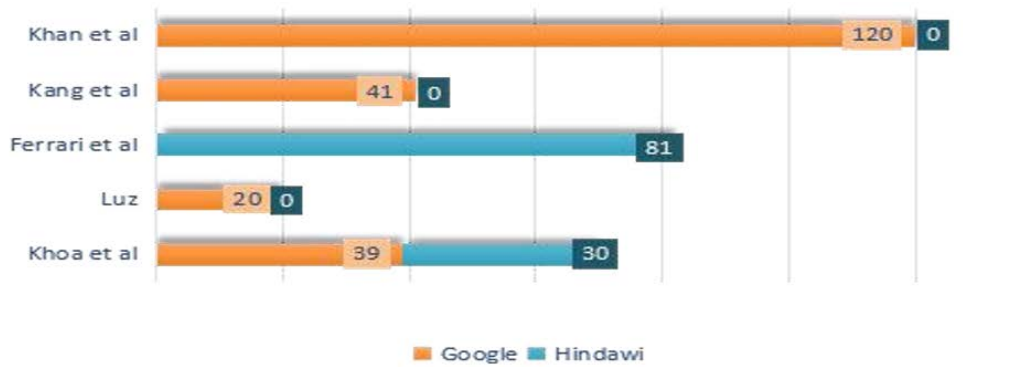


Figura 4 - Gráfico de quantidade de citações nas plataformas Google Acadêmico e Hindawi.



Quadro 1 - Artigos sobre Internet das Coisas aplicada à gestão de resíduos orgânicos.

AUTOR/ANO/LOCAL DE PESQUISA	PROPOSTA	RESÍDUO	DISPOSITIVO/FUNIONAMENTO
Khan, R.; Kumar, S.; Srivastava, A. K.; Dhingra, N.; Kumari, P. (2021) Índia	Machine Learning and IoT-Based Waste Management Model	RSU	Uso de microcontrolador arduino UNO, sensor ultrassônico, sensores de umidade, aplicativo móvel para gerenciamento do sistema com sincronização com google map para definir rota do veículo.
Da Luz, G.P.C.P. (2021) Brasil.	Otimização das Rotas Logísticas de Caminhões de Coleta Seletiva a Partir do Uso de Internet das Coisas: Um Estudo de Caso	RSU	Uso da tecnologia GSM no desenvolvimento da arquitetura do sistema, Preparação de dados utilizando o Python e o Google OR-Tools.
Kang, K. D.; Kang, H.; Ilankoon, I. M. S. K.; Chong, C. Y. (2020) Malásia	Sistemas de coleta de lixo eletrônico usando Internet das Coisas (IoT): Gerenciamento de lixo eletrônico doméstico	REEE	Servidor backend para monitoramento das lixeiras. Sensores Ultrassônicos, modelo HC-SR04, com arduino para fornecer energia ao sensor e ao módulo wi-fi, controle do nível da caixa, e recursos wirelles para troca de informações com a nuvem, que está vinculada com o banco de dados (Google Firebase).

AUTOR/ANO/LOCAL DE PESQUISA	PROPOSTA	RESÍDUO	DISPOSITIVO/FUNIONAMENTO
Ferrari, F.; Striani, R.; Minosi, S.; Fazio, R.; Visconti, P.; Patrono, L.; Catarinucci, L.; Corcione, C. E.; Greco, A. (2020) Italia	Uma plataforma protótipo inovadora orientada para IoT para a gestão e valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos	RSU	Plataforma gerenciada em arduino, rastreabilidade baseada em tecnologia de identificação por RFID, plataforma CLOUD para gerir os dados coletados, sensor capacitivo para medição da umidade do resíduo orgânico, sendo o sinal fornecido por conversor analógico digital integrado ao microcontrolador do arduino.
Khoa; Phuc; Lam; Nhu; Trong; Phuong; Dung; Tan-Y; Nguyen ; Duc <i>et al.</i> (2020) Vietnã.	Sistema de gerenciamento de resíduos usando aprendizado de máquina baseado em IoT na universidade.	RSU	Algoritmo de planejamento de caminho ideal para coleta de resíduos; Monitoramento de lixeiras por meio de sensores e tecnologia LoRa E32.

Os autores estudados incluíram diversas tecnologias em seus estudos para a implantação de um sistema de monitoramento, conforme segue:

1. Microcontrolador Arduino UNO : Serve como central de processamento e controle do sistema, interagindo com diversos sensores e módulos;
2. Sensor Ultrassônico (HC-SR04) : Utilizado para medir o nível de resíduos dentro das lixeiras e enviar esses dados ao Arduino;
3. Sensores de Umidade : Usados para detectar a umidade dos resíduos orgânicos, contribuindo para a análise do tipo de eliminação;
4. Aplicativo Móvel : Interface para gerenciamento do sistema, incluindo funcionalidades de mapeamento via Google Maps para roteirização dos veículos de coleta;
5. Tecnologia GSM : Utilizada na arquitetura do sistema para comunicação celular e transmissão de dados;
6. Python e Google OR-Tools : Para a preparação e análise de dados, bem como para otimização de rotas de coleta com algoritmos de planejamento;
7. Servidor Backend : Monitoramento remoto das lixeiras, provavelmente recebendo e processando dados dos sensores;
8. Módulo Wi-Fi : Conecta o Arduino à internet para comunicação sem fio com a plataforma de nuvem;
9. Google Firebase : Banco de dados na nuvem para armazenamento e gerenciamento de dados encontrados pelo sistema;
10. Tecnologia de Identificação por RFID : Para rastrear veículos ou lixeiras, proporcionando um sistema de rastreabilidade eficiente;
11. Plataforma Cloud: Gestão centralizada dos dados coletados, provavelmente oferecendo análises e insights sobre a operação;
12. Sensor Capacitivo e Conversor Analógico-Digital : Medição da umidade dos resíduos e conversão dos sinais analógicos dos sensores em dados digitais

para processamento;

13. Algoritmo de Planejamento de Caminho : Otimização do trajeto de coleta de resíduos para eficiência operacional;
14. Tecnologia LoRa E32 : Comunicação de longo alcance e baixo consumo para transmitir dados dos sensores em áreas mais amplas.

Essas tecnologias integradas fornecem uma solução abrangente para a gestão inteligente de resíduos, desde a coleta e monitoramento até a otimização de rotas e a análise de dados.

A tecnologia GSM é uma norma digital de segunda geração (2G) para telefonia móvel. Ao integrar a tecnologia GSM em projetos de hardware e software, diferentes linguagens de programação podem ser utilizadas, dependendo do contexto e da plataforma. A escolha da linguagem geralmente depende do hardware específico do módulo GSM, dos requisitos do sistema e do conhecimento e preferência do desenvolvedor.

Cabe ressaltar que podem ser utilizadas várias linguagens de programação para configuração de microcontroladores Arduino ou GSM, conforme segue:

C/C++ Puro : Usando o AVR-GCC diretamente, que é o compilador subjacente do IDE do Arduino, pode-se programar os microcontroladores da linha Arduino em C/C++ puro sem abstrações da linguagem Wiring, sendo possível estar enviando comandos AT diretamente ao módulo GSM através de portas seriais;

Python: Com o uso de ferramentas como PyMite ou MicroPython, é possível escrever scripts Python que rodam em certos modelos de Arduino. No entanto, isso geralmente requer um hardware adicional que possa interpretar Python, já que os microcontroladores Arduino padrão não têm essa capacidade nativamente. Em plataformas como Raspberry Pi ou sistemas que suportam Python, bibliotecas como PySerial podem ser usadas para comunicar com módulos GSM através de comandos AT;

JavaScript : Plataformas como o Johnny-Five ou o Espruino permitem programar o Arduino usando JavaScript, embora isso possa exigir um firmware especial ou módulos adicionais. Para aplicações IoT e servidores que precisam se comunicar com módulos GSM, JavaScript com Node.js pode ser usado, especialmente quando se trata de gerenciar a conectividade e a lógica do lado do servidor;

Linguagens de Programação Visual: Ferramentas como o Scratch for Arduino (S4A) ou o Ardublock permitem programar o Arduino usando uma interface gráfica que gera o código por trás dos blocos visuais, o que é ótimo para iniciantes e educação;

Assembly ou Linguagens de Baixo Nível : Para controle de baixo nível e otimização de desempenho, programadores avançados podem optar por escrever código em linguagem Assembly diretamente para os microcontroladores Atmel AVR que são uma base dos Arduinos. Para programação de firmware ou para situações em que o controle direto do hardware é necessário, linguagens de baixo nível podem ser utilizadas.;

Outras linguagens: Existem adaptadores e compiladores que permitem o uso de outras linguagens, como Rust, Go e outras, mas essas opções geralmente são para

usuários avançados e podem exigir uma compreensão profunda do hardware Arduino;

Java: Em aplicativos Android, que utilizam tecnologia GSM para chamadas, SMS, e transferência de dados, Java é uma linguagem predominante, embora Kotlin também esteja se tornando popular;

Comandos AT: Embora não seja uma linguagem de programação per se, os comandos AT são uma série de comandos de texto usados para controlar modems e módulos GSM. Qualquer linguagem que possa enviar strings de texto para uma porta serial pode usar comandos AT para interagir com a tecnologia GSM;

Linguagens de Script: Shell script ou outras linguagens de script podem ser usadas para configurar e gerenciar módulos GSM em sistemas operacionais baseados em Unix/Linux. Para desenvolver um aplicativo móvel que inclui funcionalidades de mapeamento e roteirização como fornecidas pelo Google Maps, as linguagens de programação mais comuns e amplamente utilizadas são:

Java e Kotlin para Android: Java tem sido a linguagem padrão para o desenvolvimento de aplicativos Android por muitos anos, e Kotlin, que é uma linguagem mais moderna e agora endossada pelo Google, é cada vez mais adotado por sua decisão e recursos avançados;

Swift para iOS: Swift é uma linguagem de programação recomendada pela Apple para desenvolvimento de aplicativos iOS. Ela é otimizada para desempenho e construída com segurança de tipos em mente;

Dart com Flutter: Flutter é um framework de UI desenvolvido pelo Google que utiliza a linguagem Dart. Ele permite a criação de aplicativos nativos compilados para Android e iOS a partir de uma única base de código;

JavaScript/TypeScript com React Native: React Native, criado pelo Facebook, permite desenvolver aplicativos móveis usando JavaScript ou TypeScript, oferecendo uma experiência próxima ao nativo com uma base de código compartilhada entre Android e iOS;

C# com Xamarin: Xamarin é uma plataforma da Microsoft que permite o desenvolvimento de aplicativos para Android e iOS usando C#.

Dentre essas opções, Kotlin para Android e Swift para iOS são atualmente os mais utilizados para o desenvolvimento de aplicativos nativos. Se o objetivo de desenvolver um aplicativo para ambas as plataformas simultaneamente, Flutter e React Native são as opções mais populares para desenvolvimento multiplataforma.

RESULTADOS OBTIDOS

Por meio da pesquisa no Google Trends (Figura 2), foi possível perceber que o Brasil está entre os cinco países que mais se interessam pela IoT e o que mais se interessa sobre CI, bem como foi verificado que o termo IoT se destaca dentre as buscas em relação aos dois assuntos. Khan *et al.* (2021) propôs um sistema de coleta de resíduos baseado na percepção de uma gestão sustentável e integrada dos meios utilizados, calculando o tempo de deslocamento dos veículos e o índice de desperdício de resíduos urbanos.

Da Luz (2021), a princípio, pretendia aplicar o método LoRa em seu projeto, todavia o sistema foi adaptado à realidade brasileira, vez que seria necessária a utilização de gateway entre o dispositivo e o middleware, e, por esse motivo, a empresa estudada optou pelo uso da tecnologia GSM, sendo utilizados painéis solares para abastecimento energético, vez que este sistema demanda um consumo maior de bateria.

Em sua pesquisa, Kang *et al.* (2020) enfatizam a importância de melhorar a gestão de REEE domésticos na Malásia, com o propósito de contribuir para o desenvolvimento de cidades sustentáveis e inteligentes. Com essa finalidade, os autores desenvolveram um sistema automatizado que utiliza um coletor equipado com sensores. Esse sistema informa o momento da coleta e ainda ajuda a população no descarte correto dos resíduos.

Utilizando e neutralizando a parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos combinada com resina, Ferrari *et al.* (2020) desenvolveram um material inovador para painéis automatizados.

Khoa *et al.* (2020) utiliza arquiteturas IoT de baixo custo, facilidade de uso e capacidade de substituição, visando encontrar o melhor caminho para coleta de dados.

Percebe-se a utilização de Machine Learning e Big Data em integração ao sistema de sensores, em que se calcula não somente o tempo e volume de resíduos, como a frequência, incorporando as experiências na utilização do sistema à aprendizagem de máquina, permitindo ao sistema a adoção de tomadas de decisões de maneira automatizada, inclusive alterando as rotas de veículos conforme a demanda apresentada, conforme citado por Bibri e Krostie (2017a) e Pérez e Delhoyo (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Convém destacar que foi verificado no Google Trends que, entre o ano de 2020 e 2021, o termo CI teve uma alta nas buscas, talvez por motivo do início do período de pandemia, época em que a tecnologia ganhou ênfase devido ao distanciamento social.

É possível verificar que três dos artigos citados mencionam o uso de arduino no monitoramento dos dados, sendo que foi mencionado o uso da tecnologia LoRa E32, que se trata de um dispositivo Wireless utilizado para a comunicação entre microcontroladores em longas distâncias, conseguindo enviar e receber dados até uma distância de 4km (quando utilizado a antena). Outro recurso citado foi o algoritmo para automação do sistema, no sentido de planejar o caminho ideal para coleta de resíduos, evidenciando o uso da inteligência artificial e da Big Data, que é monitorada por meio do Backend e coleta de dados através da plataforma CLOUD, bem como a utilização do banco de dados do Google Firebase. Outro recurso utilizado nos trabalhos analisados foi o de rastreabilidade baseada em tecnologia de identificação por RFID. Quanto aos tipos de sensores, foram citados os de identificação do nível da caixa, de peso, de gás, de aceleração e de medição da umidade do resíduo orgânico, sendo o sinal fornecido por conversor analógico digital integrado ao microcontrolador do arduino.

Percebe-se a utilização de Machine Learning e Big Data em integração ao sistema de sensores, em que se calcula não somente o tempo e volume de resíduos, como a

frequência, incorporando as experiências na utilização do sistema à aprendizagem de máquina, permitindo ao sistema a adoção de tomadas de decisões de maneira automatizada, inclusive alterando as rotas de veículos conforme a demanda apresentada, conforme citado por Bibri e Krostie (2017a) e Pérez e Delhoyo (2017).

A Internet das Coisas (IoT) revolucionou diversos setores, e a gestão da coleta de resíduos sólidos não é exceção. Ao longo deste estudo, ficou evidente que a implementação da IoT no gerenciamento de resíduos oferece vantagens significativas, desde a otimização de rotas de coleta até a identificação precisa dos volumes e tipos de resíduos em diferentes localidades. A capacidade de monitorar em tempo real a geração e acumulação de resíduos pode ajudar as cidades a alocar recursos de forma mais eficiente, reduzindo custos operacionais e minimizando o impacto ambiental. Porém, além das potencialidades, enfrentamos desafios associados à integração de tecnologias, à segurança dos dados e à necessidade de infraestrutura adequada. A transformação digital na gestão de resíduos sólidos é um caminho promissor, mas requer planejamento, investimento e treinamento para atingir todo o seu potencial.

É nítida a necessidade de melhorar o sistema de coleta de resíduos, sendo que a Internet das Coisas, em conjunto com a Inteligência Artificial e a Big data, tem se configurado como uma ferramenta facilitadora na otimização do gerenciamento logístico de coleta de resíduos sólidos. Essa pesquisa demonstrou que é possível obter resultados relevantes para o auxílio na gestão logística, bem como o crescente interesse na implementação de sistemas de automatização do sistema de coleta, a ponto de gerenciar até mesmo a energia utilizada no funcionamento dos sensores, a frequência de coleta dos recipientes ou o itinerário utilizado pelos veículos.

Todavia, é necessário um estudo complexo sobre as melhorias apresentadas na implantação do sistema de automatização e das vantagens e desvantagens em sua utilização.

REFERÊNCIAS

ADAPA, S. **Indian Smart Cities and cleaner production initiatives** – Integrated framework and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p.3351- 3366, 2018.

AHVENNIEMI, H.; *et al.* **What are the differences between sustainable and smart cities?** *Cities*, v.60, n.234–245, 2017.

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. **Smart Cities : Definitions , Dimensions ,Performance , and Initiatives**. n. February, p. 37–41, 2015.

AL-FUQAHA A., *et al.*, **Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications**. *IEEE Communication surveys and tutorials*, vol. 17, no.4, fourth quarter, 2015.

ALAVI, A. H.; JIAO, P.; BUTTLAR, W. G.; LAJNEF, N. **Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends**. *Measurement*, v. 129, p. 589–606, 2018.

ALMEIDA, H.T.S. **Sistema de Monitoramento de Nível de Lixeiras Aplicado a Cidades Inteligentes**. São Carlos, 2019. Disponível em http://www.tcc.sc.usp.br/Almeida_HenriqueToledo_tcc. Acesso em: 01 de novembro de 2023.

- BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. **Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review.** Sustainable Cities and Society, v. 31, p. 183– 212, 2017.
- BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial (da REPÚBLICA Federativa do Brasil), Brasília, 2010. COHEN, B.; MUÑOZ, P. **Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework.** Journal of Cleaner Production, v. 134, p.87-97, 2016.
- DA LUZ, **Otimização Das Rotas Logísticas De Caminhões DeColeta Seletiva A Partir Do Uso De Internet DasCoisas: Um Estudo De Caso,** 2021. Disponível em: G.P.C.P. https://bdm.unb.br/bitstream/10483/34144/1/2021_GustavoPessoaCaixetaLuz_tcc.pdf Acesso em 06 de Outubro de 2023.
- DÍAZ-DÍAZ, Raimundo; MUÑOZ, Luis; PÉREZ-GONZÁLEZ, Daniel. **Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander.** Future Generation Computer Systems, v. 76, p. 198-214, 2017. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17301553>. Acesso em 06 de outubro de 2023.
- FACCIONI FILHO, M. **Internet das coisas** : livro digital / Mauro Faccioni Filho ; design instrucional Marina Cabeda Egger Moellwald. – Palhoça : Unisul Virtual, 56 p, 2016.
- FERRARI, F.; STRIANI, R.; MINOSI, S.; FAZIO, R.; VISCONTI, P.; PATRONO, L.;
- CATARINUCCI, L.; CORCIONE, C. E.; GRECO, A. 2020. **An innovative IoT-oriented prototype platform for the management and valorisation of the organic fraction of municipal solid waste.** Journal of Cleaner Production, 247, 119618. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119618. Acesso em 01 de Novembro de 2023.
- FUNASA – **Fundação Nacional de Saúde.** Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de resíduos sólidos. 2014. Disponível em (<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/34981/manualdeorientacoestecnicasparaelaboracaodepropostasresiduossolidos.pdf/d84790e5-647b-47c6-b393-bfd89a322563>). V Acesso em 01 de Novembro de 2023.
- GARCIA, M. B. S.; NETO, J. L.; MENDES, J. G.; XERFAN, F. M. F.; VASCONCELLOS, C. A. B.; FRIEDE, R. R. **Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada.** Revista Científica Semioses. 9, 2:77- 91, 2015.
- GIL, A. C., **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social (6 ed.).** Atlas S.A., São Paulo, 2008.
- GRÁCIO, M. C., **Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico conceitual.** Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação, 21, 82-99, 2016.
- KANG, K. D.; KANG, H.; ILANKOON, I. M. S. K.; CHONG, C. Y. **Electronic waste collection systems using Internet of Things (IoT): household electronic wastemanagement in Malaysia,** 2020. Journal of Cleaner Production, 119801. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.119801. Acesso em 01 de Novembro de 2023.
- KHAN , R.; KUMAR , S.; SRIVASTAVA, A. K.; DHINGRA,N.; GUPTA, M.; BHATI, N.; KUMARI1, P. **Machine Learning and IoT-Based Waste Management Model.** 2020. <https://doi.org/10.1155/2021/5942574>. Acesso em 25 de Outubro de 2023.
- KHOA T.A., PHUC C.H., LAM D.P., NHU, L.M.B. , TRONG, N.M. , PHUONG, N.T.H.,
- DUNG, N.V. , TAN-Y, N. , NGUYEN, H.N. , DUC, D.N.M. **Sistema de gerenciamento de resíduos usando aprendizado de máquina baseado em IoT na universidade.** Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2020/6138637/>. Acesso em 01 de Novembro de 2023.

MIKKELSEN, M.S. **Using Internet of Things Platforms to Create Value in Copenhagen**. 2018. Disponível em <https://projekter.aau.dk/projekter/files/267939754/>

MIKKEL S. Mikkelsen. **Master_Thesis.pdf**. Acesso em 06 de Outubro de 2023.

NEIROTTI, P.; *et al.* **Current trends in Smart City initiatives**: Some stylised facts. *Cities*, v.38, p.25-36, 2014.

PARDINI, K., RODRIGUES, J., KOZLOV, S., KUMAR, N., and FURTADO, V. **IoT-based solid waste management solutions**: A survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1):5, 2019.

PÉREZ-DELHOYO, R.; GARCÍA-MAYOR, C.; MORA, H.; GILART-IGLESIAS, V.;

ANDÚJAR-MONTOYA, M. D. **Improving urban accessibility**: A methodology for urban dynamics analysis in smart, sustainable and inclusive cities. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, v. 12, n. 3, p. 357-367, 2017.

PORTO, A.F.D. *et al.* **O Futuro é das CHICS**: Como construir agora as cidades humanas, inteligentes, criativas e sustentáveis. *IBCHIS*, p. 69-70, 2020.

ROSA, A. H. ; FRACETO, L.F. ; CARLOS, V. M. **Meio ambiente e sustentabilidade**. 1. ed. Porto Alegre-RS: Editora Bookman, 412p, 2012.

SANTOS, B.P., SILVA, L.A.M, CELES, C.S.F.S, NETO, J.B.B., PERES, B.S., VIEIRA, .A.M., VIEIRA, L.F.M., GOUSSEVSKAIA, O.N., LOUREIRO, A.A.F., **Internet das Coisas**: da Teoria à Prática. Belo Horizonte, p. 2, 2016.

SHAH, P. J.; ANAGNOSTOPOULOS, T.; ZASLAVSKY, A.; BEHDAD, S. **A stochastic optimization framework for planning of waste collection and value recovery operations in smart and sustainable cities**. *Waste Management*, v. 78, p. 104-114, 2018.

SHYAM, G. K., MANVI, S. S., and BHARTI, P. **Smart waste management using internet-of-things (IoT)**. In 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCT), pages 199–203. IEEE, 2017.

SILVA, L. J., **Trabalho de conclusão de curso**: internet das coisas. Palhoça, p. 49. 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, Ao professor Prof. Me. Gabriel Henrique Campos Baião , pela orientação acadêmica, apoio e confiança, à minha família, em especial aos meus pais, meu filho Tomás e à minha irmã Eliane, que sempre me apoiaram em meus estudos, e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação. Esta pesquisa foi realizada com a utilização dos recursos do próprio autor.

Planta de dessalinização a ser implantada em um município Fortaleza no Ceará, provendo um reforço na captação de água potável, nestas regiões

Desalination plant to be implemented in a Fortaleza municipality in Ceará, providing a reinforcement in the capture of drinking water in these regions

Paulo Marcos Cabral Junior

Especialista em Energia Solar e Eficiência Energética; Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba – UNIFATECPR; Rio de Janeiro / RJ

Paulo Sérgio Rosa Fernandes

Doutor em Química; CEFET-RJ; Rio de Janeiro / RJ

RESUMO

Está sendo proposto, um acréscimo de 1.000 litros por segundo de água potável, na distribuição de água, na Cidade de Fortaleza, Ceará. Este acréscimo ocorrerá por meio da captação da água do mar. Este fomento de água potável irá beneficiar uma parcela da população dos bairros desse município, com 720.000 residentes, desta região. Este fato ocorrerá com a utilização da osmose reversa (OR), e no uso do Hidróxido de Cálcio e injeção de CO_2 . E por último, um produto desinfetante, Hipoclorito de Sódio. Aplica-se de Fluorossilicato de Sódio, em atendimento à legislação brasileira. O material rejeitado pelo processo, e denominado de salmoura, que será levada para o mar, por meio de difusores. O sistema é composto por um reservatório de água e uma Estação Elevatória de Água Tratada - EEAT. Este equipamento será responsável por promover o recalque da água produzida, para os pontos de distribuição da do bairro Aldeota e Mucuripe.

Palavras-chave: dessalinização; osmose; potabilidade.



ABSTRACT

An increase of 1,000 liters per second of drinking water is being proposed for distribution in a Fortaleza Municipality in Ceará. This increase will occur through the capture of seawater. This promotion of drinking water will benefit a portion of the population of the neighborhoods of this municipality, with 720,000 residents, in this region. Which will be achieved with the use of reverse osmosis (RO), and the use of Calcium Hydroxide and CO₂ injection. And finally, a disinfectant product, Sodium Hypochlorite. Use of Sodium Fluorosilicate, in compliance with Brazilian legislation. The material rejected by the process is called brine, which will be taken to the sea through diffusers. The system consists of a water reservoir and a Treated Water Pumping Station - TWPS. This equipment will be responsible for promoting the repression of the water produced to the distribution points in neighborhood Aldeota and Mucuripe.

Keywords: desalination; osmosis; potability.

INTRODUÇÃO

Com aumento do consumo no abastecimento e água nas cidades metropolitana, está sendo proposto pela Prefeitura de Fortaleza no Ceará, um acréscimo de 1.000 litros por segundo de água potável, a ser injetado do macrossistemas integrado, na distribuição de água, nesta Cidade. Este fomento de água potável tem uma expectativa em beneficiar uma parcela da população dos bairros Aldeota e Mucuripe, com 720.000 residentes, desta região. Nas Espanha, existem cidades como, Múrcia e Málaga que já tem usado com sucesso está tendo pleno sucesso, ao usar essa tecnologia. Em Israel, com a SOREK, consegue 7,22 m³/s de Água dessalinizada, mais da metade do território em área de deserto, 76% da água para consumo doméstico, provem da dessalinização. É um país semiárido, no qual, seu recurso naturais, como: água pluvial, mar da Galileia e três aquífero, que não conseguem suprir sozinhos, a água que o país necessita. Com o uso da água dessalinizada, podem se recuperar após anos de estiagem (Tenne, 2015). Desta forma, este sistema de dessalinização proposto, irá retirar a água do mar da praia do futuro, na cercania dos bairros citados. O projeto da planta de dessalinização de água Marinha concebido pela Companhia de Água e Esgoto do Estado. A osmose reversa irá atender a demanda hídrica da população, de forma a mitigar, a sobrecarga do sistema de abastecimento de água, deste município (Cagece, 2023).

OBJETO DA PESQUISA

- Validar o suprimento da água bruta do mar, como insumo na planta de dessalinização para as pessoas e a agricultura, pelo uso da osmose reversa (OR);
- Comprovar a viabilidade técnica no processo da dessalinização, na sua potabilidade da água do mar.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foca seus resultados na tecnologia de OR para fins de fornecimento de água potável, mediante a dessalinização de água mar, englobando as seguintes estratégias: Investigar em modo simplificado, o processo de OR; Apurar o estado da arte de unidades de OR; Utilizar o modelo de OR, encontrado no contexto literário, que pudessem dar fundamento a este estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo dos processos de dessalinização até hoje desenvolvidos é de remover os sais diluídos nas águas de um modo geral, tornando-as desta forma, uma água de boa qualidade para o consumo humano. A futura planta de dessalinização de água marinha concebido pela empresa de água e esgoto está prevista para entrar em funcionamento, em 2026. Com a utilização da Osmose Reversa, para o atendimento da demanda hídrica da população, espera-se mitigar, a sobrecarga do sistema de abastecimento de água, dos municípios brasileiros. Sendo assim, a água captada do oceano terá dispostas as seguintes tarefas:

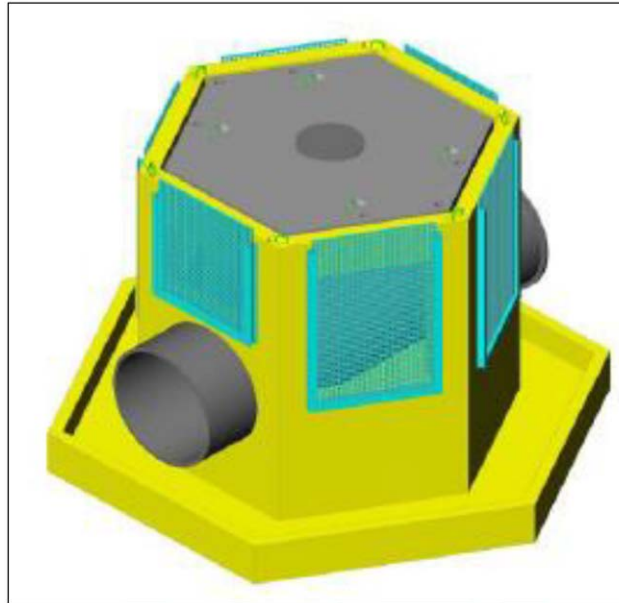
- 1) Captação da água do mar, com o posterior fornecimento de água bruta à estação uma elevatória;
- 2) Pré-tratamento;
- 3) Osmose reversa;
- 4) Pós-tratamento;
- 5) Emissário submarino;
- 6) Elevatória de água produzida.

CAPTAÇÃO DA ÁGUA DO MAR

O sistema de captação de água do mar é composto por tubos são de polietileno de alta densidade (PEAD), a fim de, apresentarem melhor resistência e maior durabilidade. A captação da água do mar ocorrerá a 1.100 metros distantes da costa, a uma profundidade de 14 metros, abaixo do nível do mar.

A entrada da água ocorrerá por um dispositivo com formato de um prisma hexagonal regular, chamado torre de captação.

Ele possuirá seis faces, com altura de 250 cm e largura em 140 cm, que permitirá seja feito, uma pré-filtragem. Ver a figura 1, a seguir:

Figura 1 - Torre de Pré-Filtragem da Água do Mar.

Fonte: SPE Águas de Fortaleza (2023)

Pré-tratamento

O processo de pré-tratamento envolve a eliminação de impurezas e a manutenção de substâncias e propriedades que tornam a água inadequada para consumo. Algumas delas são: bactérias patogênicas, turbidez, cor, odor, sabor, dureza, corrosividade, ferro, manganês e sais minerais (Gomes, 2019). Este sistema tem objetivo de remover sólidos suspensos e prevenir o crescimento de bioincrustações, incrustações minerais, material biológico, partículas coloidais e constituintes orgânicos insolúveis. Esses depósitos, com o tempo, se acumulam nas superfícies da membrana durante a operação até causarem perda no fluxo de permeado, redução de sua eficiência na retirada de sais, ou ambos. A planta foi projetada com um sistema de limpeza química completo, incluindo um tanque de limpeza, bombas de limpeza e filtro de cartucho. A operação do sistema de pré-tratamento é automatizada e será dotada de sistema de retrolavagem, com água filtrada ou salmoura, além de sopradores de ar comprimido.

Osmose reversa

A unidade de membrana de osmose reversa tem a função de gerar dois fluxos de água, na saída, a partir, do fluxo único de entrada, proveniente da Unidade de Bomba de Alta Pressão.

Dessa forma, é gerado um fluxo de “permeado”, que seria a água dessalinizada, ou doce, e também é gerado um fluxo de “concentrado”, que seria água com alta salinidade (em relação à água de alimentação do sistema), a ser tratada ou descartada (Gambier; Badreddin, 2009; Gervasoni; Kriguel; Souza, 2017).

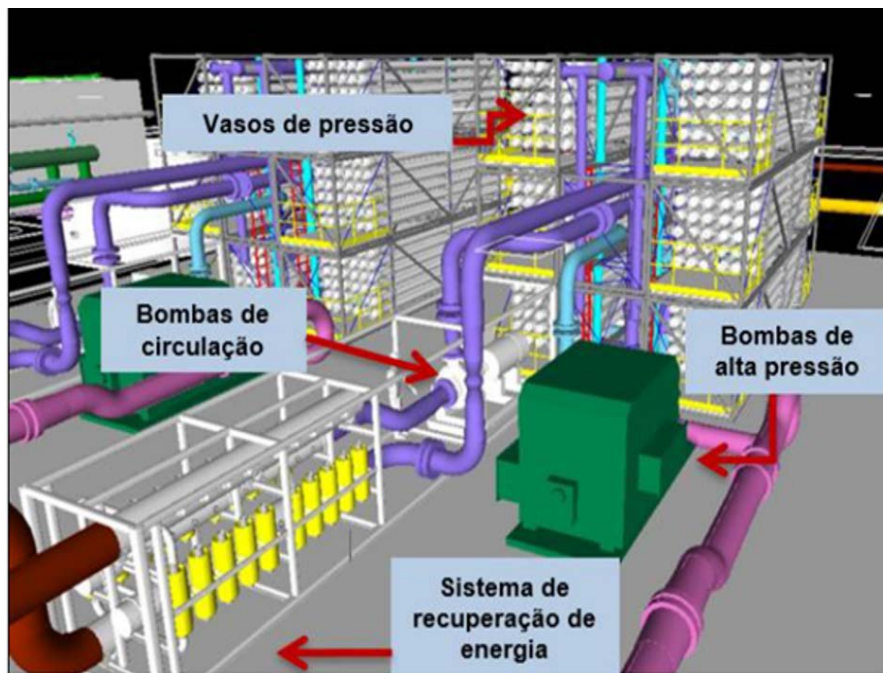
A membrana utilizada promove uma ultrafiltração, visto que é feita de material semipermeável e sintético, com espessura inferior a 1 micrômetro. Quando a água se desloca por ela, as impurezas ficam retidas e, assim, ocorre a separação dos sais, minerais e outros

contaminantes que tornam a água imprópria para o consumo.

A água permeada é a água que passa pela membrana, e nelas são encontradas poucas ou nenhuma partícula maior, que o tamanho médio de poros da membrana. A água concentrada, por sua vez, é a corrente rica em partículas maiores, que são incapazes de permear a membrana (Cheremisinoff, 1998; Mulder, 1991).

O Sistema será composto por módulos de: Vasos e Bombas de Alta Pressão (HPP - *High Pressure Pump*) e um sistema de Recuperação de Energia (ERS - *Energy Recovery System*), em cada módulo. Os quatro módulos produzem 250 litros por segundo (l/s) cada um deles, totalizando, 1 m³ / s água permeada, em toda a planta. Ver figura 2, a seguir:

Figura 2 - Visão Geral dos Trens de Osmose e seus Constituintes.



Fonte: SPE Águas de Fortaleza (2022)

Pós-tratamento

A água permeada deve ser remineralizada e enquadrada dentro dos parâmetros de potabilidade nacionais, antes de ser distribuída. Em seguida, através da adição de solução de Hidróxido de Cálcio e injeção de CO₂. E por último, um produto desinfetante, Hipoclorito de Sódio. Aplica-se de Fluorossilicato de Sódio, em atendimento à legislação brasileira.

Emissário submarino

Este rejeito de material salino, caracterizado como salmoura, disposto de volta no oceano por intermédio de um emissário submarino a base de PEAD, com 1.200 mm de diâmetro e à aproximadamente 600 metros distante da costa brasileira. Este terá a incumbência de levar a salmoura para o mar, por meio de difusores, e tem a capacidade de operar uma vazão máxima de 1,3 metros cúbicos por segundo (m³/s). A planta de dessalinização possui um tanque de salmoura dividido em três módulos: Um reservatório para água de retrolavagem dos filtros pressurizados; Um resultado da retrolavagem dos filtros pressurizados e o descarte da lavagem das membranas; Um canal de mistura da

salmoura dos dois primeiros, dosando a mistura de forma a manter a salmoura dentro dos parâmetros legais nacionais, e encaminhando a salmoura para o emissário submarino.

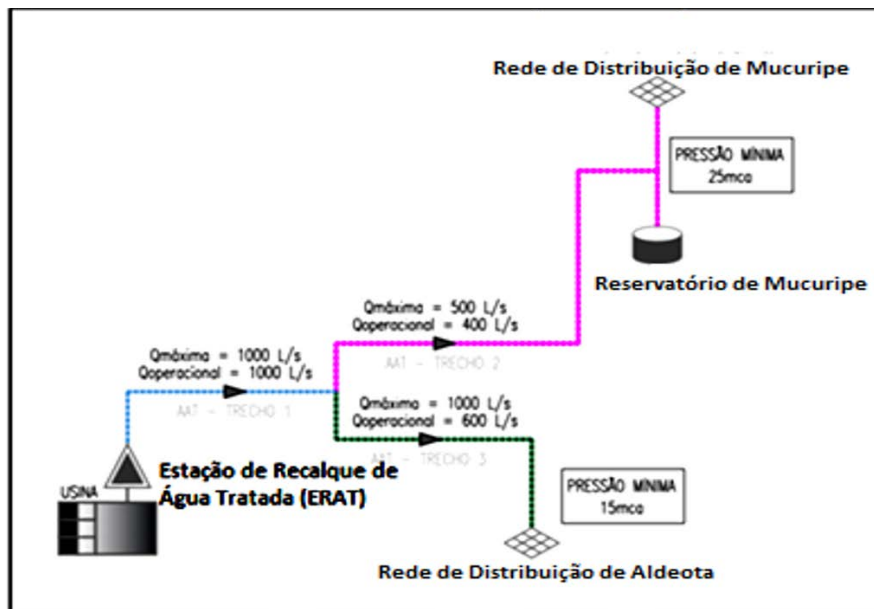
Elevatória de água produzida

O sistema é composto por um reservatório de água e uma Estação Elevatória de Água Tratada - EEAT. Este equipamento será responsável por promover o recalque da água produzida para os pontos de distribuição da do bairro Aldeota e do bairro Mucuripe.

O reservatório apoiado possui uma capacidade nominal de armazenamento de 1.000 m³, alimentando por quatro bombas em linha em DN500, e mais uma bomba reserva deste mesmo valor, até o início em uma única linha DN700, seguindo então, em direção à adutora de água tratada.

Esta estação elevatória de água tratada (EEAT) possuirá tubulação em ferro fundido dúctil, e será responsável por recalcar uma vazão de 1.000 litros por segundo (l/s), e serão feita em concreto, o reservatório e as estações elevatórias. Ver figura 3, a seguir:

Figura 3 – Adaptada, Reservatório de Água Tratada.



Fonte: adaptado, SPE Águas de Fortaleza (2023)

A linha de recalque entre a planta de dessalinização e o ponto de interligação no setor Aldeota para 600 l/s, enquanto o trecho que segue até o reservatório de Mucuripe, foi dimensionado operacionalmente, para a vazão de até 400 l/s, de forma a garantir, uma pressão mínima de 15 metros de coluna de água (MCA) no ponto de interligação do setor de Aldeota e 25 MCA, no reservatório de Mucuripe. Uma preocupação adicional ao empreendimento da planta de dessalinização, é que as empresas de telecomunicações instaladas na praia do futuro, estavam alegando que esse empreendimento, encontrava-se muito próximo ao HUB de Telecomunicações. E essas empresas de telecomunicações, com receio de uma imperícia, de funcionário ou terceirizados pelo Consórcio Águas de Fortaleza, possa causar uma ruptura, em um destes dezesseis cabos de fibra óptica, que chegam ao HUB, e acabaram por acionar a ANATEL. Fato este, fez com que as empresas entrassem em litígio, com a empresa responsável desse empreendimento, Água de Fortaleza S/A.

Segundo a Cagece (2023), a Licença Prévia (LP) para a planta de dessalinização do Ceará foi aprovada no início de novembro de 2023. Nesta fase, acontecerão as audiências públicas e aprovação junto ao Conselho Estadual de Meio Ambiente (Coema).

RESULTADOS

Segundo dados retirados o Sistema de Monitoramento Diário de Agravos (SIMDA, 2021 – 2022) a população de Fortaleza, no Ceará, aproximadamente de 2.703,4 milhares de moradores, deste município. O município será dividido em cinco regionais, e esses dois bairros, estão localizados na Secretaria Regional II. Considerando como espaço amostral, os bairros de Aldeota e Mucuripe, com um com projeção prevista para de 720 mil pessoas entre residentes e flutuantes. Ver a Fotografia 1:

Fotografia 1 – Rede de distribuição da água tratada.



Fonte: HL Soluções Ambientais (2023)

A população beneficiada pela planta dessalinização representaria 26,63% (vinte seis vírgula sessenta e três por cento) de Fortalezaenses. A seguir será mostrado na Tabela 1, as diferenças entre essas plantas de dessalinizadoras:

Tabela 1 - Comparação entre os quatro dessalinizadores avaliados.

Município, Estado, País	Fortaleza, Ceará, Brasil	Águilas / Guadalentín Múrcia, Espanha	Valdelentisco Múrcia, Espanha	Marbella, Málaga, Espanha
Numero de Pessoas	720 mil população	130 mil população	60 mil população	400 mil p perma e 1200 mil p.Estacio
Capacidade de Produção de Água Potável	31,56 hm ³ /ano (86.400 m ³ /dia)	60 hm ³ /ano (12 hm ³ / ano população 48 hm ³ / ano agricultura)	63 hm ³ /ano (20 hm ³ /a popul. 37 hm ³ /a agricul. 13 hm ³ /a Turístico Residencial)	70 hm ³ /ano
Quanto Custou?	560 Milhões Euros	268 Milhões Euros	142 Milhões Euros	35 Milhões Euros
Inauguração	2026	Expansão 2020	2007	2020

Município, Estado, País	Fortaleza, Ceará, Brasil	Águilas / Guadalentín Múrcia, Espanha	Valdelentisco Múrcia, Espanha	Marbella, Málaga, Espanha
Subestação	12,5 MVA 69 kV, 3 fases; 6,6 kV, três fases, quatro fios; 380/220V, sistema trifásico, quatro ou cinco fios	20 MW 6.6 kV 4,5 kWh/m ³	25 + 25 MW 132/6 kV BT: 690 V e 400/230 V 3,5 a 3,9 kWh/m ³	20 MW 6.6 kV 4,5 kWh/m ³

Fontes: <https://www.acuamed.esc. Semace; Guadalentín; Valdelentisco e Marbella>.

As técnicas de dessalinização são consideradas como o meio mais eficaz de aquisição de água doce. Por isso, o processo de osmose reversa possui algumas vantagens, com relação aos processos tradicionais de dessalinização, e apresentam-se uma melhor alternativa, do seu produto final, para o uso humano.

Após a água tratada com o fluorossilicato de sódio, em atendimento à legislação brasileira, Este passará para a estação de recalque da água tratada, e será distribuídos, com as pressões correspondentes, a rede de distribuição do bairro Aldeota e Mucuripe.

A DESSAL em Fortaleza vem sofrendo grande restrições que se instalar na praia do futuro devido possíveis problemas com as empresas de telecomunicações, particularmente, as que operam com cabos submarinos telecomunicações internacionais. Estes a partir da agora, serão designado como HUB dos Cabos Submarino. Como será mostrado de Tabela 2:

Tabela 2 - Hub dos cabos submarinos com países estrangeiros.

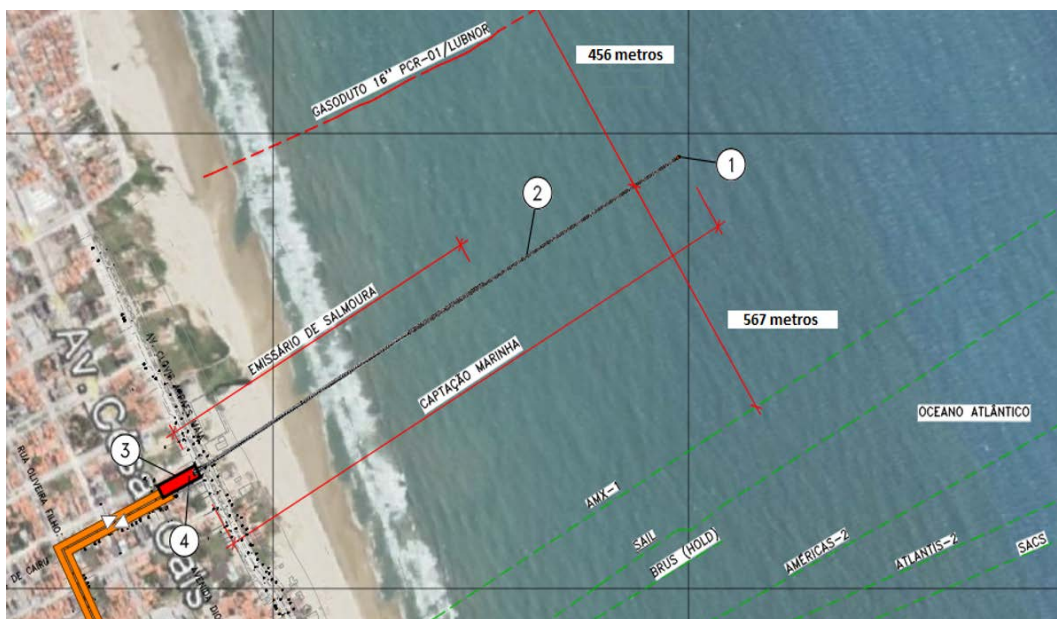
NOMES	CONEXÕES	INTERCONEXÕES	EXTENSÃO	PROPRIETÁRIO	INÍCIO DE OPERAÇÃO
AMX-1	CE; RJ e BA 30 Tb/s	America Central; México e EUA	17.800 km	America Movil, Claro	2014
America II	CE	America Central; México; Ilhas V; Venezuela e EUA	8.373 km	Embratel	2000
Brazilian Festoon	CE	Diversos Países	2.552 km	Embratel	1996
BRUSA	CE e RJ 160 Tb/s	America Central; México e EUA	11.000 km	Telxius	2018
EllaLink	CE 72 Tb/s	Cabo Verde; Funchal e Portugal	6.200 km	EllaLink Vida útil 25 anos	2021
Globenet	CE e RJ < 101 ms	Colômbia; Bermudas; Venezuela e EUA	23.500 km	GlobeNet	2000
Júnior	RJ e Santos 13 Tb/s	Não tem Conexão com outros Países	390 km	Google	2018
Malbec	RJ e Santos 108 Tb/s	Argentina	2.600 km	Globenet	2021
Monet	CE e Santos 64 Tb/s	Boca Raton, Flórida, EUA	10.556 km	Algar Telecom; Angola Cable; Antel Uruguai e Google	2017
Seabras-1	Pr.Grande-SP 72 Tb/s	Wall Township. Nova Jersey, EUA	10.800 km	Seaborn e Telecom Itália	2017

NOMES	CONEXÕES	INTERCONEXÕES	EXTENSÃO	PROPRIETÁRIO	INÍCIO DE OPERAÇÃO
Sam-1	CE; RJ; BA; Santos 1,92 Tb/s	Diversos Países	25.000 km	Telxius	2001
SAC	CE; RJ; Santos 1,28 Tb/s	Diversos Países	20.000 km	Lumen e Telecom Itália Sparkle	2000
SACS	CE 40 Tb/s	Sangano, Angola	6.165 km	Angola Cables	2018
SAIL	CE 32 Tb/s	Kribi, República Camarões	10.800 km	Camtel e China Unicom	2020
Tannat	Santos (SP) 40 Tb/s	Las Toninas, Argentina Maldonado, Uruguai	2.000 km	Antel Uruguai e Google	2018
Firmina	Pr. Grande-SP 240 Tb/s por Tronco 16 pares x15Tb/s	Brasil; Argentina; Uruguai e EUA	14.517 km	Google	Previsão para ficar pronta em 2024

Fonte: TECNOBLOG.

As empresas deste HUB dos cabos submarinos têm colocados enormes dificuldades da DESSAL, em prosseguir com a implantação do projeto de dessalinização da água do mar. A seguir, na Fotografia 2 será mostrado, a exigência que foi cumprida junto ANATEL:

Fotografia 2 - Distância de 547 metros do tubo captação da água do mar para o primeiro cabo do HUB do cabo submarino.



Fonte: HL Soluções Ambientais (2023), p 188.
CAGECE - Praia do Futuro, Planta de Dessalinização x HUB Fibra Óptica

DISCUSSÃO

A planta de dessalinização (DESSAL) tem uma previsão em ser concluída dentro de 24 meses (2024 – 2025). Com um custo estimado em 560 milhões de Euro, ou três Bilhões de Reais, com concessão de trinta anos. Durante a construção das obras, deverão ser

instalados: dutos, bombas e equipamentos da construção civil, e poderão surgir problemas pontuais.

Fazendo um comparativo entre essas plantas dessalinização, vê-se uma característica marcante: às três plantas de origens espanholas são para consumo humano e para o uso na agricultura, em quanto à planta de dessalinização de Fortaleza foi projetada, somente para o consumo humano e, atingem dois bairros, Aldeota e Mucurípe, na Regional II Território 7, e a Planta Dessalinização da água do mar, produzirá 31,56 hm³ / ano.

A seguir, foi mostrada a produção de plantas de água dessalinizada, em Território Espanhol: Águilas / Guadalentín, na Cidade de Múrcia: 12 hm³ / ano; Valdelentisco, na Cidade de Múrcia, produziu 20 hm³ / ano; Marbella, na cidade de Málaga: gerou 70 hm³ / ano, sendo 400 mil população permanente e 1.200 mil para a população flutuante.

O Governo de Israel teria investido em seu país, R\$ 2.500 milhões de Reais, ou 470 Milhões de Euros, para a criação da Planta Dessalinização SOREK. Está seria uma usina de dessalinização que representaria 20% do abastecimento da água doce do país atendendo a aproximadamente dois milhões de pessoas. A Planta Dessalinização SOREK teria a capacidade de produzir 624.000 m³ / dia, ou o equivalente a 233,6 hm³ / ano.

A grande preocupação é que devido às obras na DESSAL em Fortaleza está venha a ter rompido um dos cabos internacionais submarinos existentes no HUB, responsáveis pelo fluxo de dados entre o Brasil e outros países.

Estes longos entraves tiveram que ser mediado pela Anatel. Segundo o EIA/RIMA, a Anatel estipulou que o projeto DESSAL estivesse a 500 metros de distância do primeiro cabo de fibra óptica internacional.

A responsável pelo projeto e pelo EIA/ RIMA, cumpriu esta exigência, e reposicionou o seu projeto estrutural, para ficar a 567 metros afastados do cabo de fibra óptica mais próxima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as hipóteses de validar o suprimento da água bruta do mar, como insumo na planta de dessalinização para as pessoas e a agricultura, pelo uso da osmose reversa, vimos que temos inúmeros casos de sucesso, principalmente; fora do Brasil que utilizam o suprimento da água bruta do mar e a osmose reversa. A viabilidade técnica no processo da dessalinização, com a potabilidade da água do mar, sendo comprovados através, exemplos práticos, e encontra-se sedimentada, o que permite o seu uso com total segurança.

REFERÊNCIAS

ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. *Planta Desaladora de Torrevieja*. 2021. Alicante. <https://www.tpf.eu/pt-pt/projects/torrevieja-desalination-plant/>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha)

- ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. **Planta Desaladora de del Bajo Almanzora**. 2021. Almería. <http://www.acuamed.es/sites/default/files/actuaciones/2117252fichas-a4-almanzora-def.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha)
- ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. **Planta Desaladora de Marbella**. 2010. Málaga. <https://www.acuamed.es/sites/default/files/actuaciones/259marbella-cortadef.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha).
- ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. **Planta Desaladora de El Atabal**. 2010. Málaga. <https://www.acuamed.es/media/actuaciones/95/elatabal-corta-def.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha)
- ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. **Planta Desaladora de Valdelentisco**. 2011. Murcia. <https://www.acuamed.es/sites/default/files/actuaciones/297valdelentisco-cortadef.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha)
- ACUAMED. AGUA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. **Planta Desaladora Águilas/ Guadaletín**. 2011. Murcia. <https://www.acuamed.es/sites/default/files/publicaciones/desaladora-aguilasguadaleatin.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024. (Espanha)
- ÁGUA DE FORTALEZA. **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL: Sistema de Abastecimento de Água Dessalinizada do Macrossistema Integrado de Distribuição de Água de Fortaleza**. CE: Fortaleza, 2023
- CAGECE. **Construção da Planta de Dessalinização Iniciará até Março de 2024**. <https://dessoceara.com.br/dessal-do-ceara-construcao-da-planta-de-dessalinizacao-iniciara-ate-marco-de-2024/> Acesso em: 03/02/2024.
- CHEREMISINOFF, M. **Liquid Filtration**, 2nd edition – BUTTERWORTH – Heineman, USA, 1998.
- DI BERNARDO, Luiz, **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos, SP: RiMa, 2002.
- GAMBIER, A.; BADREDDIN, E. **Control of Small Reverse Osmosis Desalination Plants With Feed Water Bypass**. In: 2009 IEEE CONTROL APPLICATIONS (CCA); INTELLIGENT CONTROL (ISIC), 2009, St. Petersburg, Russia. DOI: 10.1109/CCA.2009.5281041. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5281041/authors#authors>. Acesso em: 16 Fevereiro 2024.
- GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. PROSAB: 2003. DANIEL, L. A. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável, PROSAB: 2001.
- MOURA, J. P., MONTEIRO, G., SILVA, J., PINTO, F., & FRANÇA, K. (2008). **Aplicações do Processo de Osmose Reversa no Aproveitamento de Água Salobra Semiárido Nordestino**. Águas Subterrâneas. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- MULDER, M. **Basic Principles of Membrana Technology**, Klumer Academic, 1991.
- PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Anatel vê Risco à Internet do País com Construção de Usina de Dessalinização no Ceará. Entenda Caso**. <https://tratamentodeagua.com.br/anatel-usina-dessalinizacao-internet/> Acesso em: 01 fev 2024.
- RAMALHO R.S. **Introduction to Wastewater Treatment Processes**. Academic Press, 1991.
- RICHTER, Carlos A., **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, SP: Ed. Blucher, 2009.

SEMACE. **Estudo de Impacto Ambiental da maior planta de dessalinização da América Latina**. <https://www.semace.ce.gov.br/2023/08/25/semace-apresenta-estudo-de-impacto-ambiental-da-maior-planta-de-dessalinizacao-da-america-latina/>. Acesso em: 08 fev. 2024.

SOARES, Tales M. *et al.* **Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006.

SZKLARZ, Eduardo. **As lições de Israel para driblar a escassez de água**. 2021. Disponível em <https://super.abril.com.br/tecnologia/vida-no-deserto-a-guerra-de-israel-contra-a-falta-dagua/>. Acesso em 08 fev 2024.

TENNE, A. *Closing the gap thr Israeli experience*. In: **Water Reuse and Desalination for Latin America Development**. Rio de Janeiro. 2015.

Produção em laboratório do hidrogênio reciclável, a partir da água destilada, utilizando eletrolisador do tipo *Proton Exchange Membrane*

Laboratory production of recyclable hydrogen, from distilled water, using Proton Exchange Membrane type electrolyzer

Paulo Marcos Cabral Junior

Especialista em Energia Solar e Eficiência Energética; Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba – UNIFATECPR; Rio de Janeiro / RJ

Paulo Sérgio Rosa Fernandes

Doutor em Química; CEFET-RJ; Rio de Janeiro / RJ

RESUMO

Este trabalho acadêmico trouxe a implementação de um laboratório de hidrogênio reciclável. Identificando-se os instrumentos utilizados nas tarefas, e tipos de atividades. Foi estimado um valor de referência para as aquisições dos módulos em três fases: primeira fase: células solares e de combustível de hidrogênio, que seriam um sistema mais simplificado; segunda fase: módulo profissional para a energia renovável híbrida, um sistema mais intermediário, com mais recursos; terceira fase: sistema de célula de combustível, com mais módulos e com um perfil para alunos mais experientes. Por último, foi feita uma abordagem, quanto aos custos dos equipamentos, importados da Alemanha, sem imposto e frete cobrado a parte.

Palavras-chave: laboratório; hidrogênio; CEFET.

ABSTRACT

This academic paper brought the implementation of a recyclable hydrogen laboratory. Identifying the instruments used in the tasks, and types of activities. A reference value was estimated for module acquisitions in three

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 10

DOI: 10.47573/aya.5379.2.300.10



phases: first phase: solar and hydrogen fuel cells, which would be a more simplified system; second phase: professional module for hybrid renewable energy, a more intermediate system, with more resources; third phase: fuel cell system, with more modules and with a profile for more experienced students. Lastly, an approach was made regarding the costs of the equipment, imported from Germany, without tax and freight charged separately.

Keywords: laboratory; hydrogen; CEFET.

INTRODUÇÃO

Este estudo retrata o intuito de descrever o estágio obrigatório em um curso técnico em energias renováveis, e foi feito no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET), no Campus Maria da Graça, Rio de Janeiro. O curso teve a duração de março 2022 a dezembro de 2023, e o estágio ocorreu de maio de 2023 a dezembro de 2023, totalizando 460 horas. O Tema do relatório foi a: “Produção em laboratório do hidrogênio reciclável, a partir da água destilada, utilizando eletrolisador do tipo *proton exchange membrane* (PEM)”, e foi identificado os materiais a serem utilizados nos laboratórios na produção do hidrogênio de renovável. Por fim, levantar a possibilidade de o hidrogênio ser usado como combustível para exportação, existindo a expectativa de ser exportada como a Amônia, pelos: Porto de Pecém; Porto de Suape; Porto do Açu; e outros Portos que queiram participar deste processo de exportação. Este relato de pesquisa propor que o CEFET Campus Maria da Graça, incorpore a sua grade curricular, a disciplina do Hidrogênio de Renovável, e que fomente a compra dos módulos para equipar os laboratórios, a um custo aproximado, de 145.000 Reais ou 27.000 Euros, em duas fases.

OBJETO DA PESQUISA

- Gerar as diretrizes para a implantação de um laboratório de hidrogênio na CEFET Campus Maria da Graça, utilizando os módulos da empresa Alemã, HELIOCENTRIS¹;
- Viabilizar tecnicamente a aquisição desses insumos e destes módulos.

METODOLOGIA

Essa é uma pesquisa qualitativa, sendo identificado a motivação como sendo a produção em laboratório do hidrogênio reciclável, a partir da água destilada, utilizando eletrolisador do tipo *proton exchange membrane* (PEM). Nela foram identificados, os custos dos materiais técnicos, e os elementos de instrumentações e os insumos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi proposta a utilização a utilização de um módulo da Heliocentris, *DR FuelCell*®

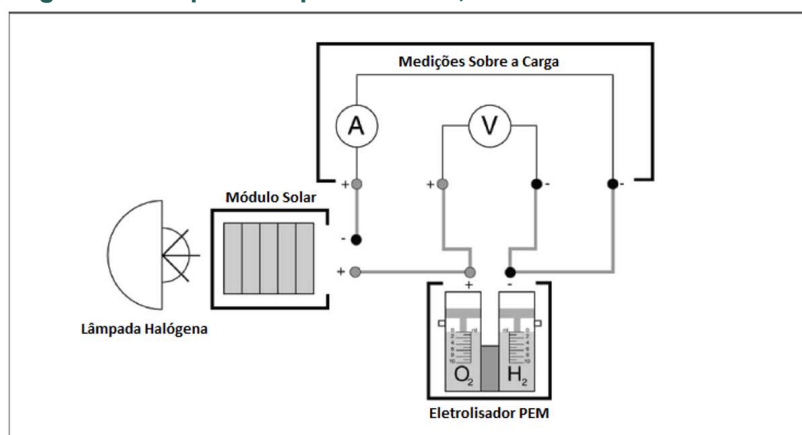
¹ HELIOCENTRIS ACADEMIA INTERNATIONAL GmbH contact@heliocentrisacademia.com Rudower Chaussee 30 – Berlin, Germany, ZIP 12489.

Professional. Entende-se por eletrólise, a dissolução de uma substância através da passagem de eletricidade através da mesma. Isso só pode ser feito com soluções de sais, ácidos ou álcalis, ou com sais fundidos. A eletrólise da água pura não é possível utilizando o equipamento de laboratório habitual. No entanto, tanto o eletrolisador como a célula de combustível no módulo utiliza uma membrana sólida especial como eletrólito. As reações nos eletrodos são catalisadas, por partículas muito pequenas de metais preciosos, como a platina (Heliocentris, 2017).

A eletrólise da água destilada

Promover a quebra de moléculas de água (H_2O) em seus átomos: Hidrogênio (H) e Oxigênio (O). O hidrogênio e o oxigênio são enviados na proporção de 2:1, e são utilizados na mesma fração, pelo eletrolisador. Ver Figura 1:

Figura 1 – Esquema representativo, *Dr FuelCell® Professional*.



Fonte: HELIOCENTRIS.

A molécula é decomposta na eletrólise, isto faz com que os átomos livres reajam da mesma forma, para formar novas moléculas. Se quebrarmos as ligações químicas de duas moléculas de água, serão formadas, duas novas moléculas de hidrogênio e uma de oxigênio, com gases que reagem entre si, para formar a água (USP, 2019).

Identificar os materiais a serem utilizados nos laboratórios técnicos a serem utilizados na produção do H_2V , a partir de água destilada, utilizando eletrolisadores do tipo PEM

Foi selecionado o fabricante germânico da marca: *Heliocentris Academia International GmbH*, e fabrica os conjuntos com distribuição no Brasil de materiais químico-eletromecânicos da mesma procedência. Sendo assim, optaram-se os três tipos de experimentos mais relevantes: As células solares e de combustível de hidrogênio com foco em ciência e *STEM*²; Energia Renovável Híbrida modular; e as células de combustível são ideais para ensinar os princípios básicos de engenharia dos sistemas de células de combustível *PEM*.

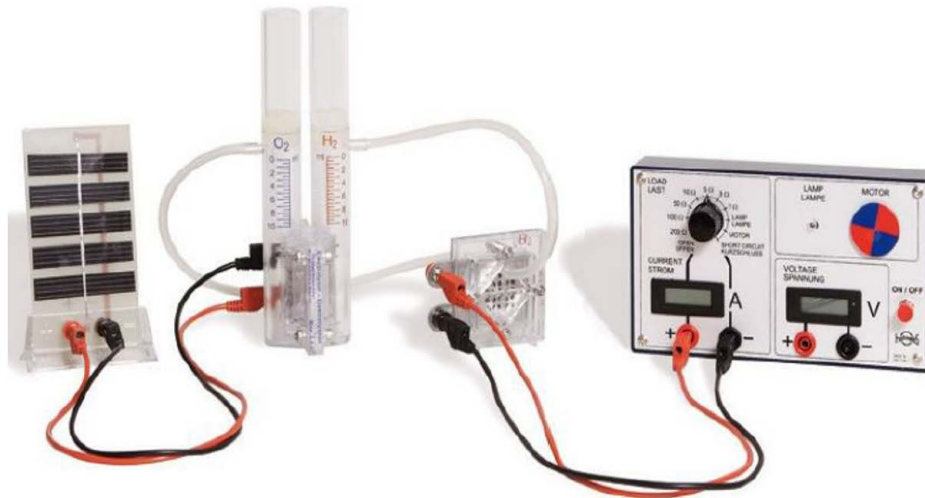
² *STEM* é um acrônimo para os campos de ciência, tecnologia, engenharia e matemática. A discussão de programas relacionados a *STEM* tornou-se uma prioridade presidencial dos Estados Unidos das Américas, porque alguns poucos estudantes técnicos ou universitários estão se formando nessas áreas.

Células solares e de combustível de hidrogênio, focando nos seguintes experimentos

- Investigação da eletrólise da água;
- Investigando eletrolisadores e células de combustível;
- Exame de uma célula de combustível de hidrogênio e metanol;
- Hidrogênio como transportador e armazenamento de energia;
- Como criar uma curva característica de um eletrolisador e de uma célula de combustível de hidrogênio e metanol.

A seguir, na Figura 2 foi mostrado um exemplo deste caso:

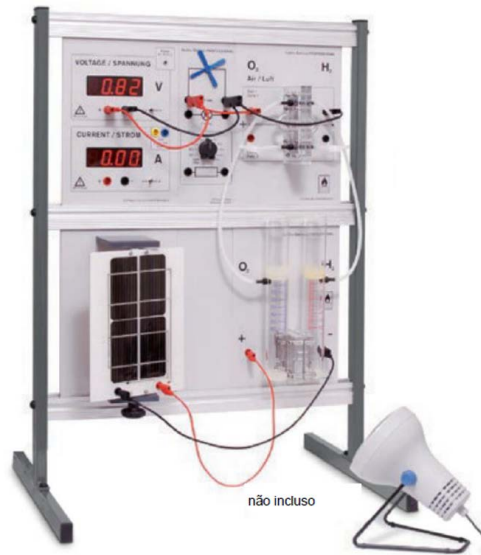
Figura 2 – Células Solares e de Combustível de Hidrogênio, p. 5.



Fonte: HELIOCENTRIS.

Módulo profissional para a energia renovável híbrida modular atuando nos principais experimentos

O Sistema de Treinamento Profissional Auxilia nas apresentações em grupo dos alunos, possibilitando a tecnologia solar e as células de combustível possam ser investigadas em detalhes, através de componentes grandes e telas de fácil leitura são ideais, para apresentações em grupo. Os alunos identificam o evento em questão, fazem conjecturas sobre a experiência e estimam o grau de certeza nos resultados esperados. A tecnologia moderna facilita muito a coleta de grandes conjuntos de dados, fornecendo assim, fontes secundárias para análise. Unidade de demonstração para ensino em sala de aula uma célula de combustível de hidrogênio: Geração de hidrogênio por meio de eletrólise via módulo solar ou gerador manual; Projeto básico de células de combustível e células solares; Exame de uma célula a combustível de hidrogênio e metanol; Célula de combustível dupla; Armazenamento de energia e uso de energias renováveis; Investigando eletrolisadores; Exame de eficiência no sistema; Material de instrução com lâmpada para operar a célula solar; Reações químicas de toda a cadeia de conversão de energia; Célula de combustível dupla; Investigando eletrolisadores e células de combustível e Calculo a eficiência de Faraday de um eletrolisador. Como foi visto na Figura 3:

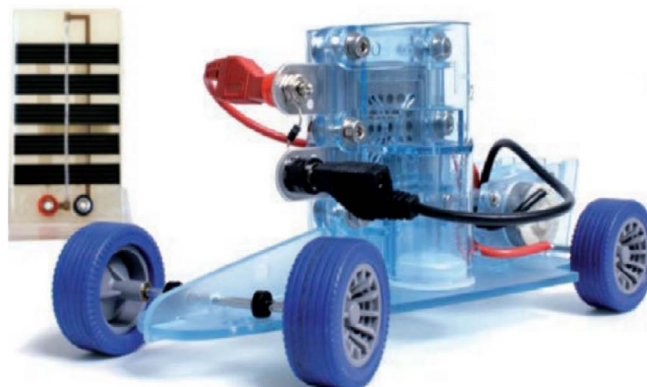
Figura 3 – Sistema de Treinamento Profissional para o Manuseio do Hidrogênio, p. 6.

Fonte: HELIOCENTRIS.

Carro de célula solar e de combustível de hidrogênio com foco em ciência e STEM

Este dispositivo é Alimentado por água e luz solar, esse modelo de carro é uma introdução desenvolvida sobre as energias renováveis, onde cada experimento é pré-configurados e um manual de instruções orientado exercício do conteúdo da tecnologia solar, hidrogênio e célula de combustível, e que pode ser com uma alta intercambialidade. O Automodelo distingue-se pela sua construção flexível e durável, podendo ser utilizado para trabalhos individuais ou em grupo. Os numerosos experimentos podem ser implementados de forma prática para tópicos atuais, como armazenamento de energia e acionamentos alternativos.

Este modelo propicia o aprendizado em: Conversão de energia; Como medir a corrente e a tensão da célula de combustível e eletrólise; Geração de hidrogênio por meio de eletrólise via módulo solar ou gerador manual; Como medir a corrente e a tensão da célula combustível e eletrólise; Caixa de medição de carga para medição de corrente e tensão; Curvas características de corrente e tensão; Projeto de células solares e células de combustível; Intensidade de iluminação e sombreamento celular no comportamento de células solares e Geração da energia elétrica. Ver Figura 4:

Figura 4 – Carro de Célula Solar e de Combustível de Hidrogênio com Foco em Ciência e STEM, p. 4.

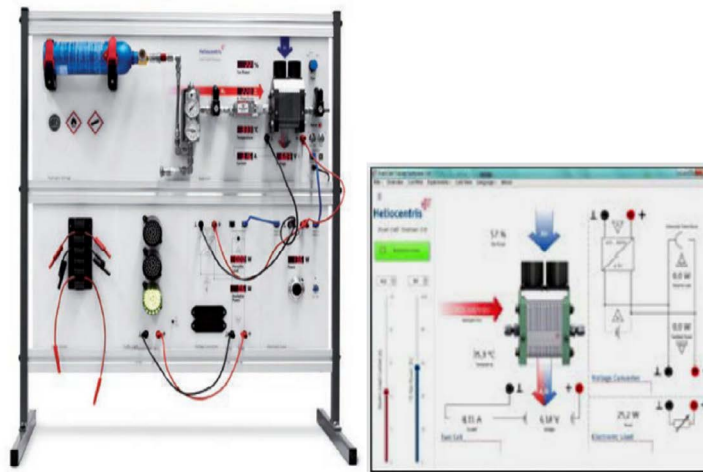
Fonte: HELIOCENTRIS.

Sistema de célula de combustível

Este Sistema de Células de Combustível foi desenvolvido para ensinar os princípios básicos de engenharia dos sistemas de células de combustível PEM. São usados amplos recursos de experimentação e utiliza um material de instrução abrangente, com experimentos predefinidos, que o tornam um pacote de instrução completo.

O software que acompanha este conjunto permite realizar experimentos e medições de maneira otimizada. Contém Experimentos como: Curvas características e curvas de eficiência; Gerador de hidrogênio HG-30; Exemplo de aplicação para carro com célula de combustível: consumo de combustível e perfil de carga; Visualização do sistema físico de uma célula de combustível; tecnologia de medição e aquisição de dados via interface de PC; Modo de experimentação manual para geração de dados e análise aprofundada de perfis de carga e vários fatores de influência; Suprimento de hidrogênio do conjunto de conexão 200 bar H₂; Dependência de saída em temperatura e suprimento de ar; e muito mais. A seguir será mostrada a Figura 5:

Figura 5 – Sistema de Célula Combustível de Hidrogênio e Software Simulador, p. 10.



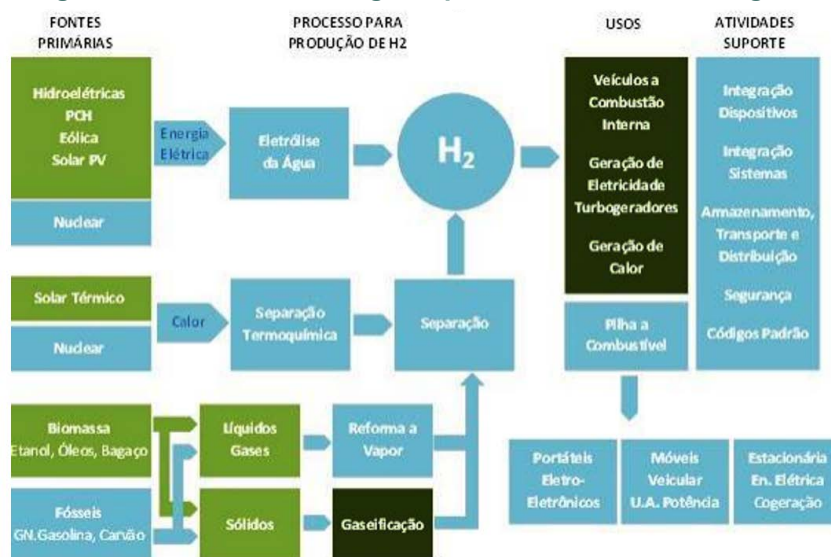
Fonte: HELIOCENTRIS.

Capacitações em hidrogênio verde e Power TO X

Para se produzir hidrogênio verde, deve se investigar as diversas rotas possíveis, como por exemplo: as tecnologias renováveis ou combustíveis fósseis com a captura do carbono. A distribuição de hidrogênio está relacionada às atividades de mão de obra necessárias, para a compressão física, transporte e distribuição de hidrogênio ou seus derivados entre os locais. Isto inclui através de tubulações em forma gasosa, e através de atividades logísticas, incluindo transporte rodoviário e marítimo. O armazenamento de hidrogênio, diz respeito às atividades necessárias para manter o hidrogênio ou quaisquer derivados em um único local por qualquer período de tempo, como conversão em um composto, por exemplo: amônia, e a infraestrutura física necessária, como navios-tanque e postos de reabastecimento. Em uma mistura de hidrogênio com gás, nesta área trata das atividades necessárias para misturar hidrogênio na rede de gás natural, incluindo os impactos aos aparelhos de consumo, turbinas a gás e manutenção decorrentes da substituição do gás natural por hidrogênio. Esta área trata das atividades de apoio à introdução do hidrogênio

como combustível em aplicações de mobilidade, incluindo tanto veículos comerciais de passageiros quanto equipamentos de plantas móveis utilizados em ambientes industriais ou comerciais. Finalmente, o hidrogênio como combustível para exportação, onde toda a atividade de apoio à exportação de hidrogênio em escala na forma líquida ou gasosa, ou convertida em um transportador de hidrogênio, como por exemplo, amoníaco³. Ver Figura 6:

Diagrama 1 – Rotas Tecnológicas para Obtenção do Hidrogênio.



Fonte: EPE (2021)

RESULTADOS

Foi estimado um investimento inicial de R\$ 145.000,00, na compra de alguns módulos básicos de hidrogênio reciclável, para a primeira fase da compra desse material, no ano de 2024 e 2025. Os materiais estão sem imposto de importação e sem frete. Vide Figura 1:

Tabela 1 – Primeira Remessa de Material (sem frete e sem imposto de importação).

Material importado da Alemanha	QUANTIDADE	EUROS	REAIS	TOTAL R\$
MODULOS Células Solares e de Combustível de Hidrogênio	04	725 Euros	4.000 Reais	24.000 Reais
Insumos para um ano				6.000 Reais
Total				30.000 reais

Esta remessa deverá entrar em uso agosto de 2024!

Tabela 2 – Primeira Remessa de Material (sem frete e sem imposto de importação)

Material importado da Alemanha	QUANTIDADE	EUROS	REAIS	TOTAL R\$
MODULOS Sistema de Treinamento Profissional para o Manuseio do Hidrogênio	02	3.200 Euros	17.000 Reais	34.000 Reais
Insumos para um ano				6.000 Reais
Total				40.000 Reais

Esta remessa deverá entrar em uso agosto de 2024!

³ GIZ, Mercado de Hidrogênio Verde e Power to X: Demanda por Capacitações Profissionais, Fev / 2023.

Tabela 3 – Primeira Remessa de Material (sem frete e sem imposto de importação)

Material importado da Alemanha	QUANTIDADE	EUROS	REAIS	TOTAL R\$
MODULOS Carro de Célula Solar e de Combustível de Hidrogênio com Foco em Ciência e STEM	04	300 Euros	1.600 Reais	5.400 Reais
Insumos para um ano				1.600 Reais
Total				7.000 Reais

Esta remessa deverá entrar em uso agosto de 2024!

Tabela 4 – Segunda Remessa de Material (sem frete e sem imposto de importação)

Material importado da Alemanha	QUANTIDADE	EUROS	REAIS	TOTAL R\$
MODULOS Sistema de Célula de Combustível	01	10.000 Euros	56.000 Reais	56.000 Reais
Insumos para um ano				12.000 Reais
Total				68.000 Reais

Esta remessa deverá entrar em uso agosto de 2025 ou 2026!

Mediante a compra desses materiais para o futuro laboratório, acredita-se em um sólido treinamento igual a um sugerido pelo GIZ. Vide Tabela 5:

Tabela 5 – Mercado de Hidrogênio Verde e Power to X: Demanda por Capacitações Profissionais.

Nível inicial	Tipo de treinamento	Conteúdo típico
Nenhum conhecimento teórico ou básico em tecnologia e trabalho; não específico para gás e H2	"Iniciantes absolutos" (por exemplo, alunos, estudantes de graduação)	Caracterização química e física do H2, seu comportamento e experimentos práticos relacionados.
Formação e experiência em profissão técnica; não específico para H2	Elementos específicos de H2 para serem integrados no treinamento ocupacional	Todo o conteúdo do treinamento de "iniciantes absolutos" mais a extensão de habilidades e conhecimentos específicos para se preparar para o primeiro contato do mundo real com o H2 em ambientes tradicionais como automobilístico.
Nível comprovado (certificado) de habilidades técnicas, conhecimentos e experiência, específicos do setor	Treinamento de transição (melhoria de competências "up-skilling")	Comparável aos elementos a serem integrados ao treinamento ocupacional, mas mais condensados e mais detalhados devido à rica experiência profissional e know-how.

Fonte: GIZ (Fevereiro de 2023)

DISCUSSÃO

Este é um projeto de vanguarda, onde o CEFET – Maria da Graça seria um dos primeiros cursos técnico de âmbito federal, a ter uma estrutura de prática, semelhante. O planejamento de compra dos módulos foi dividido em três etapas, a saber:

- 1ª fase (Agosto de 2024): Aquisição de quatro módulos de Células Solares e de Combustível de Hidrogênio; dois módulos de Sistema de Treinamento Profissional para o Manuseio do Hidrogênio; e quatro Carros de Célula Solar e de Combustível de Hidrogênio, com Foco em Ciência e STEM, totalizando, 77.000

Reais ou 14.500 Euros, mais impostos de importação e frete internacional.

- 2ª fase (Agosto de 2025): Aquisição de um módulo de Sistema de Célula de Combustível, a 68.000 Reais ou 12.700 Euros, mais impostos de importação e frete internacional (essa compra pode ser feita, mediante a resposta da aceitação positiva dos alunos a primeira fase do projeto).

Atualmente, tem o Senai Nacional, com sede em todo Brasil, vem recebendo o material comprado no final de 2022, para as seis Regionais do SENAI:

- Ceará;
- Rio Grande do Norte;
- Rio Grande do Sul;
- Bahia;
- São Paulo;
- Paraná;
- Santa Catarina.

O Rio de Janeiro não foi contemplado nesse projeto de 10 Milhões de Reais. Os mesmos da Heliocentris selecionado por esse trabalho acadêmico fazem parte, de um projeto maior desenvolvido, pelo SENAI.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na certeza do tema “Produção em laboratório do hidrogênio reciclável, a partir da água destilada, utilizando eletrolisador do tipo *proton exchange membrane* (PEM)” está com enorme procura no meio acadêmico. Teve-se o cuidado de fazer um projeto estruturado para a aquisição dos equipamentos e dos insumos. Estes materiais fazem parte de um projeto para a compra, instalação do laboratório em uma das salas do bloco H. É imperativo que este projeto da disciplina Hidrogênio Reciclável, ou Hidrogênio Verde, seja colocado em prática o em agosto de 2024, do início a grade desta disciplina no Curso Técnico Subsequente em Energias Renováveis. Com absoluta convicção que o hidrogênio reciclável possa ser a chave em que abrirá as portas para milhares de jovens ao mercado de trabalho, e acreditando em uma curso técnico de qualidade, que motivem e continuem a busca por uma Escola Técnica de qualidade.

REFERÊNCIAS

GIZ. **Mercado de hidrogênio verde e Power to X: demanda por capacitações profissionais**, Fevereiro de 2023. [https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/18/f8/18f8e006-67a0-45ac-b775-d1cd6fd7ae6f/03-03-2023_mercado_de_hidrogenio_verde_e_power_to_x_-_demanda_por_capacitacoes_profissionais.pdf]. Acessado em: 15 de Fevereiro de 2024

HELIOCENTRIS. **CATALOG**. https://www.heliocentrisacademia.com/media/90/HAI_ETR_2022_EN.-2.pdf]. Acessado em: 15 de Fevereiro de 2024

HYDROGEN EXPO. **H₂ Hydrogen Expo South America**. [<https://hydrogenexpo.com.br/>].
Acessado em: 15 de Fevereiro de 2024

McDonald, A. e Berry, M. **Ciência Através do Hidrogênio: Energia Limpa para o Futuro**.
Alemanha: Heliocentris Energie Systeme GmbH. 2010

UNIVERSIDADE de São Paulo (USP). **Experimentoteca: Eletrólise da Água**. 2019. Disponível em: <https://sites.usp.br/cdcc/wp-content/uploads/sites/512/2019/07/eletrolise.pdf>. Acesso em 24/02/2024

Padronização do modelo de cultivo de *Cordyceps militaris* a partir de substrato de arroz

Katherine Plautz

Gabriela Borgmann

Alessandra Betina Gastaldi

Natalia Cavichioli

Gustavo Schuetzler Gomes Fernandes

Mirela Parissa Bondan Misaghi

Luana Gabriely de Almeida Campos

Simona Renz Baldin

Débora Delwing-Dal Magro

Daniela Delwing de Lima

RESUMO

Introdução: O *Cordyceps militaris* (*C. militaris*) desperta interesse devido a sua capacidade de reprodução em ambiente controlado. Estudos anteriores demonstraram que seus componentes são comparáveis aos encontrados na natureza, contendo diversos compostos bioativos como nucleosídeos, polissacarídeos, ácido γ -aminobutírico (GABA) e ergotioneína. A cordicepina, um nucleosídeo presente no *C. militaris*, possui atividades imunostimulantes e antitumorais. **Metodologia:** A pesquisa foi realizada com a cepa Mound 4#4 bx6 #9 em um meio de cultura composto por extrato de malte, peptona de soja, sulfato de magnésio, citrato de amônio, fosfato de potássio monobásico e arroz. Os frascos inoculados foram mantidos sob condições controladas até a frutificação do fungo. **Resultados:** Observamos que a luz teve um papel importante na pigmentação e morfologia das colônias, com maior pigmentação observada sob iluminação. O tempo de incubação também afetou a pigmentação, com aumento progressivo em algumas colônias. **Conclusão:** Concluímos que o cultivo de *C. militaris* é viável em condições controladas, com a luz e o substrato exercendo influência significativa na pigmentação e morfologia do fungo. Esses resultados contribuem para o avanço no entendimento do cultivo deste fungo e suas possíveis aplicações biomédicas.

Palavras-chave: *Cordyceps militaris*; fungo; cultivo; ambiente controlado.

ABSTRACT

Introduction: *Cordyceps militaris* (*C. militaris*) arouses interest due to its ability to reproduce in controlled environments. Previous studies have shown that its components are comparable to nature's, containing various



bioactive compounds such as nucleosides, polysaccharides, γ -aminobutyric acid (GABA), and ergothioneine. Cordycepin, a nucleoside in *C. militaris*, exhibits immunostimulatory and antitumor activities. Methodology: Our research utilized the strain Mound 4#4 bx6 #9 in a culture medium composed of malt extract, soy peptone, magnesium sulfate, ammonium citrate, monobasic potassium phosphate, and rice. Inoculated flasks were kept under controlled conditions until the fungus was fruited. Results: We observed that light played an important role in colony pigmentation and morphology, with higher pigmentation observed under illumination. Incubation time also affected pigmentation, with a progressive increase in some colonies. Conclusion: We conclude that the cultivation of *C. militaris* is feasible under controlled conditions, with light and substrate exerting a significant influence on the pigmentation and morphology of the fungus. These results contribute to the advancement in understanding the cultivation of this fungus and its potential biomedical applications.

Keywords: *Cordyceps militaris*; fungus; cultivation; controlled environment.

INTRODUÇÃO

Os cogumelos do gênero *Cordyceps*, pertencentes ao filo Ascomycota, possuem tradição rica e milenar asiática, devido aos efeitos tonificantes, de redução da fadiga e estimulação do sistema imunológico de seres humanos. Devido às suas propriedades e o grande interesse de pesquisadores por mais efeitos da etnomedicina, os organismos desse grupo foram incluídos na Farmacopeia Chinesa de 2015, devido ao seu elevado valor biológico (Jędrejko; Lazur; Muszyńska, 2021).

Utilizados por habitantes da Ásia, principalmente aqueles de regiões montanhosas, o consumo secular de *Cordyceps* spp está relacionado a adaptar os organismos às condições da montanha, como altitude, baixa temperatura, alta pressão atmosférica e redução de oxigênio. Já a medicina tradicional chinesa, utiliza o fungo para tratamento de variadas doenças cardiovasculares, respiratórias, inflamatórias, hepáticas, renais, doenças infecciosas, disfunções sexuais e diabetes (Jędrejko; Lazur; Muszyńska, 2021).

Os indígenas coletam o fungo com a larva na temporada de maio a junho, secam, pulverizam e depois preparam um extrato com água quente. Seu preparo é realizado a partir de larvas de mariposas *Thitarodes* spp. e *Lepidoptera* spp. que desenvolvem o fungo em seus corpos após ficarem infectadas. O fungo gradualmente utiliza toda a parte interior das larvas para posteriormente produzir corpos de frutificação que ficam visíveis acima da superfície do solo (Jędrejko; Lazur; Muszyńska, 2021).

Existem aproximadamente 500 espécies de organismos do gênero *Cordyceps*, entretanto o *Cordyceps militaris* (*C. militaris*) é a que mais chama a atenção dos pesquisadores no momento devido à sua capacidade de reprodutibilidade *in vitro*. Encontrado naturalmente em regiões montanhosas da Ásia, Europa e América do Norte (Verma *et al.*, 2023), o *C. militaris* cresce no solo ou ligado a cadáveres de insetos.

Apesar de ser encontrado na natureza, sua extração não é amplamente viável devido ao seu ciclo de vida e à necessidade de um hospedeiro e ambiente específicos para seu crescimento (Cui, 2015), já que o fungo seco é transmitido por lagartas. O parasita precisa

de um inseto hospedeiro ou larva para sobreviver (Shweta; Abdullah; Komal; Kumar, 2023). No entanto, estudos como o de Wang *et al.* (2012) comprovaram que os componentes dos fungos cultivados em laboratório e dos encontrados na natureza são equivalentes.

De acordo com estudos, *C. militaris* possui em sua composição compostos bioativos do grupo dos nucleosídeos (cordicepina e adenosina) e polissacarídeos, assim como resultados analíticos revelaram a presença de outras substâncias bioativas como: ácido γ -aminobutírico (GABA) e ergotioneína, glicoproteínas (lectinas), D-manitol (ácido cordicéptico), glicolípideos (cerebrosídeos), xantofilas, incluindo carotenoides (luteína e zeaxantina), esteróis (ergosterol), compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonoides), estatinas (lovastatina), vitaminas e biominais (magnésio, potássio, selênio e enxofre) (Cohen *et al.*, 2014; Chan *et al.*, 2015).

Um estudo desenvolvido por Wu e colaboradores (2019) demonstrou que a concentração e a distribuição de compostos bioativos não são uniformes nos corpos de frutificação do *C. militaris*, sendo as partes exteriores com maior concentração de nucleosídeos, polissacarídeos, carotenoides e compostos orgânicos de selênio.

A cordicepina (C₁₀H₁₃N₅O₃), é um nucleosídeo de purina, também conhecida por 3'-Desoxiadenosina, seu peso molecular é de 251,24 g/mol. Esse composto foi isolado de *C. militaris* por Cunningham e colaboradores em 1950, e tem sido amplamente estudado, tanto *in vitro* como *in vivo*. Os estudos realizados até a data confirmaram diversas atividades atribuídas a esse composto, incluindo propriedades imunoestimulantes, anti-inflamatórias, antivirais, antitumorais, ergogênicas, hipolipidêmicas, hipoglicêmicas e reguladoras da esteroidogênese e espermatogênese (Tuli, Sardhu e Sharma, 2013).

Estudos realizados em animais demonstraram que a cordicepina possui atividade imunoestimulante, a qual resulta de sua capacidade de induzir uma resposta imunitária celular e humoral. Esses estudos revelaram que a cordicepina aumenta a concentração de interleucinas IL-4, IL-10 e IL-12, bem como das citocinas Th1 e Th2. Além disso, houve uma diminuição na concentração de IL-2 e do fator de crescimento transformador- β (TGF- β), juntamente com um aumento dos níveis de linfócitos T (CD4 e CD8) (Tuli, Sardhu e Sharma, 2013; Qin *et al.*, 2019; Jędrejko *et al.*, 2021).

Os estágios anamórficos isarioides de *Cordyceps* spp. frequentemente desenvolvem sinemas notáveis e ramificados sobre o inseto hospedeiro, com as estruturas reprodutivas localizadas nos ápices. As hifas geralmente apresentam características hialinas e lisas, enquanto os conidióforos consistem em verticilos de fiálides com bases inchadas e extremidades em forma de pescoço fino, a partir das quais são produzidas cadeias divergentes de conídios com diversas formas, dependendo da espécie (Brown e Smith, 1957; Samson, 1974; Liang, 1981; Luangsa-ard *et al.*, 2005; Humber, 2012).

Apesar de sua dispersão global, em vários ambientes ecológicos, sua preferência por ambientes de clima temperado e tropicais de toda a Ásia, concentrando-se na Coreia, Japão, Nepal e China e de todos os seus metabólitos de interesse médico e cultural, com promissor desenvolvimento de produtos farmacêuticos, sua raridade e alto custo de aquisição e processamento, as espécies de *Cordyceps* encontradas na natureza foram recentemente ultrapassadas por espécimes cultivadas em laboratório (Shweta; Abdullah; Komal; Kumar, 2023).

A presença de compostos bioativos no *C. militaris* e sua adaptabilidade a diferentes hospedeiros aumenta a possibilidade de uma grande quantidade de aplicações medicinais. Dessa forma, a padronização de um modelo de cultivo se torna importante para viabilizar a obtenção de quantidades suficientes de componentes deste fungo.

METODOLOGIA

O *C. militaris* vem sendo utilizado em pesquisas na Universidade da Região de Joinville - Joinville/SC (Brasil) relacionadas a fibromialgia e necessita de grande quantidade de matéria prima para síntese de polissacarídeos e cordicepina. Em ambiente diferente do que comumente é encontrado, tornou-se um desafio encontrar cepas a um valor acessível e na quantidade necessária para os estudos. Portanto, buscou-se produzir em ambiente controlado a propagação desse organismo para utilização no laboratório de estresse oxidativo e metabolismo energético da Universidade.

O cultivo utiliza a estrutura de dois laboratórios no local, com pesquisadores dos níveis de Pós-Graduação - Mestrado e Doutorado e graduação de áreas correlatas à saúde e ao meio ambiente.

A metodologia utilizada foi adaptada de diversas metodologias encontradas na literatura. Algumas modificações foram seguidas para adequar as condições ambientais e laboratoriais conforme as demandas e disponibilidades do laboratório.

A cultura líquida da cepa Mound 4#4 bx6 #9, adquirida de Terrestrial Fungi® (Warren, MI, Estados Unidos da América) de *C. militaris* foi inoculada em meio de cultura composto por 30g de extrato de malte, 3g de peptona de soja, 1g de $MgSO_4$ (sulfato de magnésio), 1g de $C_6H_{14}N_2O_7$ (citrato de amônio) e 3g de KH_2PO_4 (fosfato de potássio monobásico) para 500g de arroz e 1L de água mineral, adaptada do método descrito por Wen *et al.* 2014.

O substrato foi dividido igualmente em 12 frascos de vidro de 500ml com tampa contendo sistema de troca gasosa (respiro) com material filtrante (gaze), e furo para inoculação selado com silicone de alta temperatura. Após o preparo dos recipientes com o substrato de cultivo, os mesmos foram autoclavados para completa esterilização por um período de 40 minutos para eliminação de quaisquer contaminantes microbiológicos. Os frascos, após atingir temperatura ambiente, foram inoculados com o meio de cultura líquido (5 ml por frasco) em capela de fluxo laminar para minimizar possíveis contaminações (Figura 1).

Os frascos de vidro foram mantidos no escuro total por sete dias com temperatura de 18°C a 20°C e 70% de umidade constante, até a colonização completa do substrato. Após esse período, os frascos passaram a receber luz (led branca) por 8h/dia seguindo o mesmo padrão de temperatura e umidade por um período de 25 dias. Para a indução da frutificação não foi necessário realizar a diminuição de temperatura para 10°C, uma vez que o micélio começou a demonstrar sinais de frutificação com a temperatura constante entre 18°C a 20°C, porém a iluminação foi prorrogada para 12h de luz diária, seguindo o mesmo padrão de umidade. Assim que todos os frascos mostraram sinais de crescimento do corpo frutífero do fungo, a iluminação passou a ser de 14h de luz diária por um período de 32 dias, até o crescimento completo dos fungos (Figura 3).

Após o crescimento foi realizada a colheita e separação de indivíduos que demonstraram maior crescimento e rapidez de desenvolvimento para realização de cultivo em placa com ágar água para posterior realização de cultura líquida. A replicação dos indivíduos mais viáveis foi realizada em placa com ágar água na proporção de 1L de água destilada para 15g de ágar. Uma parte do corpo frutífero, cerca de 2cm, foi extraído e fixado na placa já endurecida, com pasta de vaselina e lacrada com tira de parafilm. As placas foram armazenadas em ambiente com temperatura constante de 20°C até o crescimento do micélio (14 dias) para futura realização de cultura líquida.

O restante dos corpos frutíferos foram acondicionados em recipientes próprios e acoplados ao liofilizador a frio (Terroni e Fauvel - LT 1000) onde permaneceram por 48h até completa liofilização (Figura 2).

Figura 1 - Preparo do meio de cultura: substrato contendo extrato de malte, peptona de soja, sulfato de magnésio, citrato de amônio, fosfato de potássio monobásico, arroz e água mineral.



(A) Meio de cultura antes da autoclavagem (B) Meio de cultura após autoclavagem por um período de 40 minutos para eliminação de quaisquer contaminantes microbiológicos.

Figura 2 - Liofilização do fungo em liofilizador a frio Terroni e Fauvel - LT 1000.

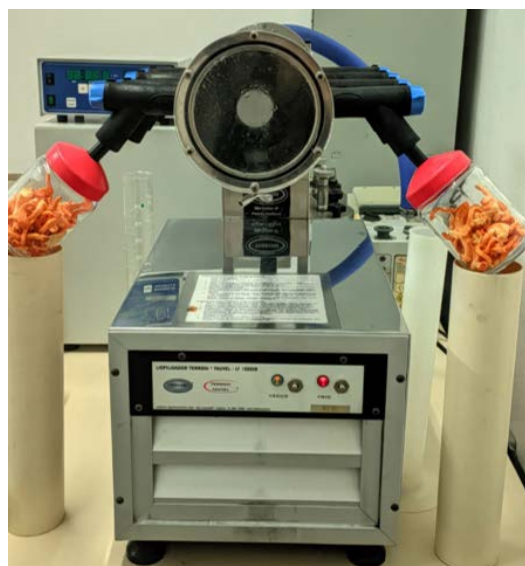
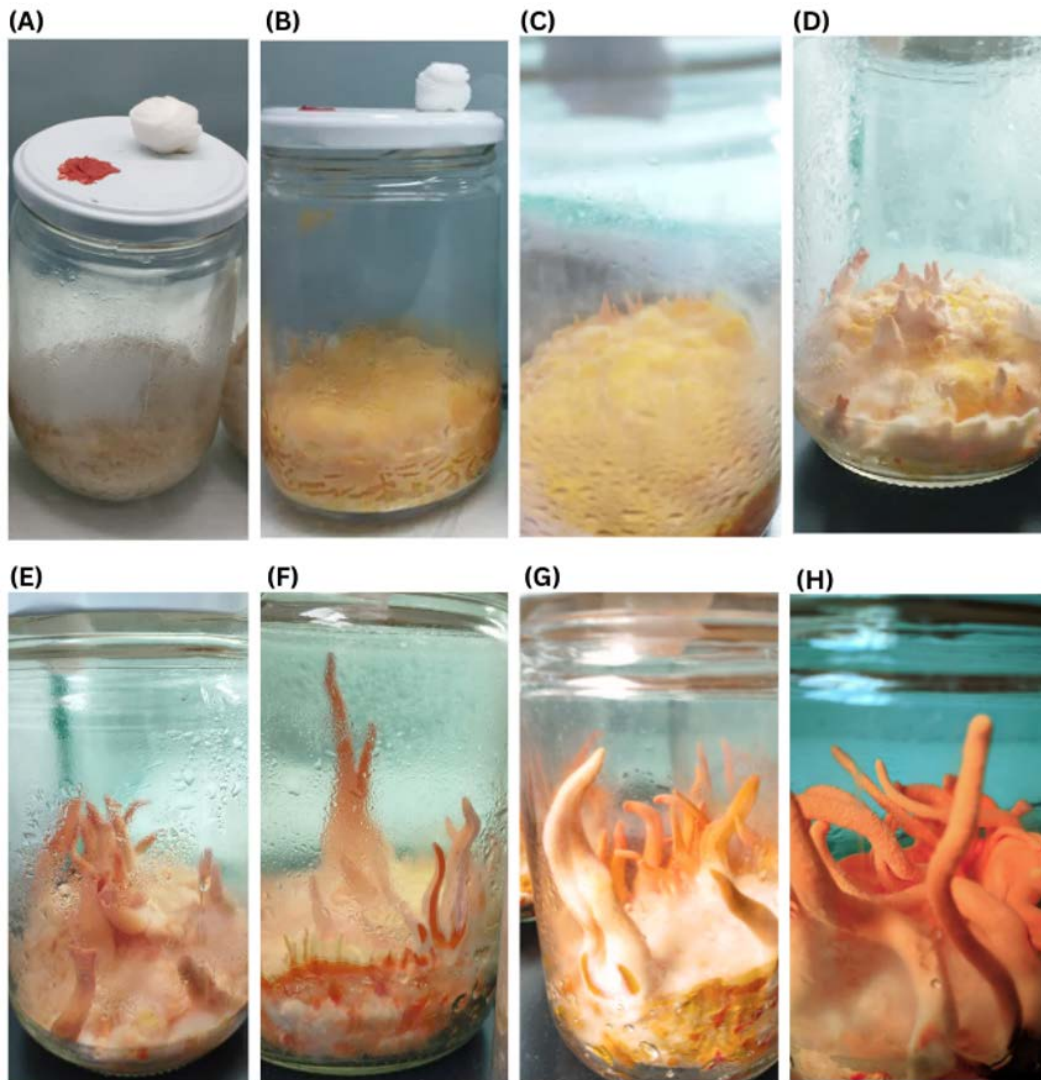


Figura 3 - Recipientes após receberem a cultura líquida da cepa utilizada e seu desenvolvimento durante o período de 64 dias.



(A) Início da formação do micélio, quatro dias após inoculação da cultura líquida, (B) 7 dias após a inoculação, completa formação do micélio demonstrando a cor alaranjada característica do fungo, (C) Início da frutificação no 25º dia, (D) Corpos frutíferos iniciais, (E) Crescimento do fungo e tonalidade alaranjada mais acentuada no 47º dia, (F) Acentuação da coloração e crescimento no 59º dia, (G) Fungos prontos para a colheita no 62º dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cepa utilizada no cultivo demonstrou bom índice de crescimento do fungo, resultando em 25g de *Cordyceps militaris* após liofilização, sendo armazenado em embalagem hermética protegida de luz e calor intenso (Figura 4).

Figura 4 - *Cordyceps militaris* (cultura líquida da cepa Mound 4#4 bx6 #9) cultivado em substrato contendo extrato de malte, peptona de soja, sulfato de magnésio, citrato de amônio, fosfato de potássio monobásico, arroz e água mineral.



A luz desempenha um papel significativo no desenvolvimento de características morfológicas, como pigmentação micelial e aspectos das colônias em cultivo, além de influenciar a presença ou ausência de outras estruturas específicas de cada espécie (Shrestha *et al.*, 2006; Inglis *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2013; Chiriví *et al.*, 2017). Notavelmente, as colônias cultivadas sob iluminação frequentemente exibem diferenças marcantes em comparação com aquelas cultivadas em total escuridão. Em condições luminosas, as colônias tendem a apresentar maior pigmentação, uma redução no micélio aéreo e uma variação nos diâmetros das colônias, que podem ser tanto maiores quanto menores do que aquelas cultivadas na escuridão (Shrestha *et al.*, 2006; Inglis *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2013; Chiriví *et al.*, 2017). Em nosso modelo, após a colonização completa do substrato de cultivo, os frascos de vidro passaram a receber luz por períodos de tempo crescentes até atingir 14h de luz diária, favorecendo a pigmentação dos fungos.

A maioria dos fungos entomopatogênicos são cultivados e ampliados em meios de cultura sólidos, os quais consistem principalmente em fontes substitutas de carbono e nitrogênio em comparação com os insetos, facilitando sua obtenção e estudo *in vitro*. As formulações de mídia comumente utilizadas incluem PDA (extrato de batata, dextrose e ágar), MA (extrato de malte e ágar), SDA (Sabouraud, dextrose e ágar), SDYA (Sabouraud, dextrose, extrato de levedura e ágar), bem como meios naturais preparados a partir de cereais como ágar-aveia (OA), arroz integral (BR), cevada e centeio (Inglis *et al.*, 2012; Vega *et al.*, 2012; Jaronski, 2014; Chiriví *et al.*, 2017). Além das fontes de carbono e nitrogênio, sais minerais, oligoelementos como ferro e cálcio, e vitaminas podem ser suplementados, embora não sejam essenciais para o crescimento dos fungos entomopatogênicos (Jaronski e Jackson, 2012).

Espécies como *C. militaris* podem exibir uma gama variada de tonalidades de pigmentação, que vão desde o amarelo até o laranja intenso, dependendo do substrato utilizado, das condições ambientais em que se desenvolve, do estado fisiológico, da cepa e da idade (Cho *et al.*, 2002; Shrestha *et al.*, 2005, 2006; Dong *et al.*, 2013; Mata-Gómez

et al., 2014; Costa *et al.*, 2016). O modelo de cultivo do presente estudo não testou outras cepas ou substratos além dos utilizados, porém as condições ambientais às quais a espécie foi submetida contribuíram para a alta pigmentação do fungo. Além disso, outro fator possivelmente facilitou sua frutificação, não sendo necessário diminuir a temperatura do ambiente para 10°C, conforme a literatura recomenda.

O período de incubação representou outro fator significativo para o desenvolvimento da pigmentação do fungo. Observou-se que, na maioria dos frascos, a pigmentação tornava-se progressivamente mais intensa ao longo das semanas. No entanto, em alguns, ocorria uma tendência à descoloração devido ao crescimento de novo micélio de tonalidade mais clara, particularmente nas margens da colônia.

Outro fator com o qual a alta produção de pigmento está associada é a síntese de polifenóis, um componente fundamental dos metabólitos secundários do micélio, utilizado como proteção antioxidante, especialmente quando o fungo é cultivado em meio sintético enriquecido. Chiriví *et al.* (2017) evidenciaram esse fenômeno com *C. nidus*, um fungo de micélio vermelho, observando um aumento na produção de polifenóis e pigmentação à medida que o tempo de cultivo em SDYA avançava, sugerindo a utilização desse tipo de meio para otimizar sua obtenção.

No caso do meio Caseína Dextrina Ágar (CDA), a pigmentação de *Cordyceps spp.* era de cor laranja e estava concentrada no centro das colônias incubadas sob luz. O CDA é um meio composto principalmente por sais básicos e, portanto, contém nitrogênio inorgânico em proporções reduzidas, o que pode favorecer ligeiramente a pigmentação. Conforme observado por Sung *et al.* (2010), o *C. cardinalis* também demonstrou essa capacidade de pigmentação.

As condições de luz e escuridão não apenas influenciam o crescimento micelial de *C. militaris*, mas também afetam significativamente seu desenvolvimento. A luz contínua pode representar um estresse direto para o fungo, o que pode explicar as reduções nas taxas de crescimento quando exposto à luz intensa. Além disso, a luz demonstrou inibir o crescimento radial em *C. militaris* quando comparado com colônias cultivadas em escuridão, em um estudo realizado por Shrestha e colaboradores (2006). Os períodos alternados entre luz e escuro durante o cultivo no presente estudo são justificados pela necessidade de proteger o estresse e consequente deficiência na taxa de crescimento da espécie.

A alta variedade de pigmentação do *C. militaris*, e de outras espécies deste gênero no cultivo artificial, garante diversas possibilidades de utilização, uma vez que diferentes tonalidades do fungo equivalem a diferenças na composição de seus componentes. Assim, o conhecimento sobre diferentes formas de cultivo pode ser útil para futuros estudos com seus compostos bioativos, uma vez que estes experimentos requerem altas quantidades. São necessários estudos complementares para explorar outras possibilidades de cultivo e seus efeitos na aplicação medicinal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada demonstra uma contribuição significativa para o conhecimento sobre o cultivo de *Cordyceps militaris* em ambientes controlados. Os

resultados obtidos sugerem que a manipulação da luz e do substrato pode influenciar tanto a pigmentação quanto a morfologia do fungo, fornecendo informações valiosas para otimizar as condições de cultivo e maximizar a produção de compostos bioativos.

Considerando o potencial terapêutico dos compostos encontrados em *C. militaris*, como a cordicepina com suas propriedades imunoestimulantes e antitumorais, os achados deste estudo abrem portas para futuras pesquisas no campo biomédico. A compreensão aprimorada do cultivo deste fungo e seus efeitos sobre a produção de compostos bioativos pode levar ao desenvolvimento de novas aplicações terapêuticas e nutricionais.

Portanto, os resultados aqui apresentados não apenas contribuem para o avanço científico no cultivo de *C. militaris*, mas também destacam seu potencial para aplicações práticas na medicina e na indústria alimentícia. O estudo incentiva a continuidade da pesquisa nessa área, visando explorar ainda mais as possibilidades oferecidas por este fungo.

REFERÊNCIAS

- Brown, A. H. S. & G. Smith. 1957. **The Genus Paecilomyces Bainier and its Perfect Stage Byssoschlamys Westling**. Trans. Brit. Mycol. Soc., 40(1): 17-89
- CHAN, J.S.L.; BARSEGHYAN, G.S.; ASATIANI, M.D.; WASSER, S.P. **Chemical composition and medicinal value of fruiting bodies and submerged cultured mycelia of caterpillar medicinal fungus Cordyceps militaris CBS-132098** (Ascomycetes). Int. J. Med. Mushrooms, v. 17, n. 7, p. 649-59. 10.1615/intjmedmushrooms.v17.i7.50.
- CHIRIVÍ, J.; G. DANIES; R. SIERRA; N. SCHAUER; S. TRENKAMP; S. RESTREPO & T. SANJUAN. 2017. **Metabolomic Profile and Nucleoside Composition of Cordyceps nidus** sp. nov. (Cordycipitaceae): A New Source of Active Compounds. PLoS ONE, 12(6): e0179428.
- CHO, Y. J.; J. P. PARK; H. J. HWANG; S. W. KIM; J. W. CHOI & J. W. YUN. 2002. **Production of Red Pigment by Sumerged Culture of Paecilomyces sinclairii**. Lett. Appl. Microbiol., 35: 195-202.
- COHEN, N.; COHEN, J.; ASATIANI M.D.; VARSHNEY, V.K.; YU, H.T.; YANG, Y.C.; LI, Y.H.; MAU, J.L.; WASSER, S.P. **Chemical composition and nutritional and medicinal value of fruit bodies and submerged cultured mycelia of culinary-medicinal higher Basidiomycetes mushrooms**. Int. J. Med. Mushrooms, v. 16, p. 273-291, 2014. 10.1615/IntJMedMushr.v16.i3.80.
- Costa S., P. N.; T. L. Bim G.; L. A. Beraldo de M.; L. M. Abreu; L. H. Souza G.; C. Santos; L. Ribeiro G. & P. Gomes C. 2016. **Production and Chemical Characterization of Pigments in Filamentous Fungi**. Microbiology, 162: 12-22
- CUI, Jian Dong. **Biotechnological production and applications of Cordyceps militaris, a valued traditional Chinese medicine**. Critical Reviews In Biotechnology, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 475-484, 25 mar. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/07388551.2014.900604>.
- DONG, J. Z.; C. LEI; X. J. ZHENG; X. R. AI; Y. WANG & Q. WANG. 2013. **Light Wavelengths Regulate Growth and Active Components of Cordyceps militaris Fruit Bodies**. J. Food. Biochem., 37: 578-584.
- HUMBER, R. A. 2012. **Identification of Entomopathogenic Fungi**. En: Lacey, L. A. (Ed.). Manual of Techniques in Invertebrate Pathology; Second Edition. Academic Press (Elsevier Ltd.). London, UK. 513 pp.

- INGLIS, G. D.; J. ENKERLY & M. S. GOETTEL. 2012. **Laboratory Techniques Used for Entomopathogenic Fungi: Hypocreales**. En: Lacey, L. A (Ed.). *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*; Second Edition. Academic Press (Elsevier Ltd.). London, UK. 513 pp.
- JARONSKI, S. T. & M. A. JACKSON. 2012. **Mass Production of Entomopathogenic Hypocreales**. En: Lacey, L. A. (E.). *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*; Second Edition. Academic Press (Elsevier Ltd.). London, UK. 513 pp.
- JARONSKI, S. T. 2014. **Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art**. En: Morales-Ramos, J.; G. Rojas & D. I. Shapiro-Ilan. *Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates y Entomopathogens*. Academic Press (Elsevier Inc.). London, UK. 765 pp.
- JĘDREJKO, Karol Jerzy; LAZUR, Jan; MUSZYŃSKA, Bożena. **Cordyceps militaris: an overview of its chemical constituents in relation to biological activity**. *Foods*, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 2634, 30 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10112634>.
- LIANG, Z. 1981. **Two New Species of Paecilomyces from Insects**. *Acta Microbiol. Sin.*, 21: 31-34.
- LUANGSA-ARD, J. J.; N. L. HYWEL-JONES; L. MANOCH & R. A. SAMSON. 2005. **On the Relationships of Paecilomyces Sect. Isarioidea Species**. *Mycol. Res.*, 109 (5): 581-589
- MAR, T. T.; N. SUWANNARACH; & S. LUYONG. 2012. **Isolation of Entomopathogenic Fungi from Northern Thailand and their Production in Cereals Grains**. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28: 3281-3291
- MATA-GÓMEZ, L. C.; J. C. MONTAÑEZ; A. MENDEZ-ZAVALA & C. N. AGUILAR. 2014. **Biotechnological Production of Carotenoids by Yeasts: An Overview**. *Microb. Cell Fact.*, 13(12): 01-11
- QIN P., LI X., YANG H., WANG Z.-Y., LU D. (2019). **Therapeutic potential and biological applications of Cordycepin and metabolic mechanisms in Cordycepin-producing fungi**. *Molecules* 24 (12), 2231 [10.3390/molecules24122231](https://doi.org/10.3390/molecules24122231)
- Samson, R. A. 1974. *Paecilomyces and Some Allied Hyphomycetes*. *Stud. Mycol.*, 6: 1-119.
- SHRESTHA, B.; S.-K. CHOI; H.-K. KIM; T.-W. KIM & J.-M. SUNG. 2005. **Genetic Analysis of Pigmentation in Cordyceps militaris**. *Mycobiology*, 33(3): 125-130.
- SHRESTHA, B.; W.-H. LEE; S.-K. HAN & J.-M. SUNG. 2006. **Observations on Some of the Mycelial Growth and Pigmentation Characteristics of Cordyceps militaris Isolates**. *Mycobiology*, 34(2): 83-91.
- SHWETA; ABDULLAH, Salik; KOMAL; KUMAR, Abhinandan. **A brief review on the medicinal uses of Cordyceps militaris**. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, [S.L.], v. 7, p. 100228, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100228>.
- SUNG, G.-H.; B. SHRESTHA; S.-K. HAN; S.-Y. KIM & J.-M. SUNG. 2010. **Growth and Cultural Characteristics of Cordyceps cardinalis Collected from Korea**. *Mycobiology*, 38(4): 274-281.
- TULI, H.S.; SHARMA, A.K.; SANDHU, S.S.; KASHYAP, D. **Cordycepin: a bioactive metabolite with therapeutic potential**. *Life Sci*, v. 93, n. 23, p. 863-9. [10.1016/j.lfs.2013.09.030](https://doi.org/10.1016/j.lfs.2013.09.030).
- VEGA, F. E.; N. V. MEYLING; J. J. LUANGSA-ARD & M. BLACKWELL. 2012. **Fungal Entomopathogens**. En: Vega, F. E. & H. K. Kaya (Eds.). *Insect Pathology*; Second Edition. Academic Press (Elsevier Ltd.). London, UK. 497 pp.

VERMA, P. K., *et al.* **Keerajadi (*Cordyceps militaris*): A Medicinal Mushroom for Improvement of Human Health.** *Vigyanvarta*. Bhubaneswar, v. 4, n. 3, mar. 2023. Disponível em: https://www.vigyanvarta.com/adminpanel/upload_doc/VV_0323_20.pdf. Acesso em: 11 mar. 2024.

WANG, Mi; MENG, Xin Yu; YANG, Rui Le; QIN, Tao; WANG, Xiao Yang; ZHANG, Ke Yu; FEI, Chen Zhong; LI, Ying; HU, Yuan Liang; XUE, Fei Qun. ***Cordyceps militaris* polysaccharides can enhance the immunity and antioxidation activity in immunosuppressed mice.** *Carbohydrate Polymers*, [S.L.], v. 89, n. 2, p. 461-466, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.029>.

Wen, T.C.; Li, G.R.; Kang, J.C.; Kang, C.; Hyde, K.D. **Optimization of solid-state fermentation for fruiting body growth and cordycepin production by *Cordyceps militaris*.** *Chiang Mai J. Sci.* 2014, 41, 858–872.

Índice de condição da manutenção

Alex Gomes Pereira

Centro Universitário São Lucas

Daniel Gomes de Farias

Centro Universitário São Lucas

Vanessa Melo da Silva

Centro Universitário São Lucas

Enzo Colombo Bueno Oliveira

Centro Universitário São Lucas

José Carlos Dias Curvelo Júnior

Centro Universitário São Lucas

RESUMO

Mensalmente, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) avalia a condição da manutenção das rodovias sob sua jurisdição, de forma a servir como parâmetro para o acompanhamento das ações de manutenção da malha rodoviária do país. Para isso, foi criada a metodologia denominada de Índice de Condição da Manutenção (ICM), que é obtido a partir do levantamento de campo, buscando classificar cada segmento em quatro categorias: péssimo, ruim, regular ou bom. O cálculo do ICM é composto pelo Índice de Pavimentação (IP), os quais são avaliados: remendos, painéis e trincas), que representa 70% do valor final, e pelo Índice de Conservação (IC), onde são avaliados os dispositivos de drenagem, roçada e sinalização horizontal e vertical), que representa os 30% restantes. Assim, o presente trabalho de revisão bibliográfica objetiva apresentar informações do atual método de avaliação e acompanhamento das ações de manutenção de rodovias brasileiras utilizada pelo DNIT.

Palavras-chave: ICM; rodovias; modal rodoviário.

ABSTRACT

Every month, the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) assesses the maintenance condition of the highways under its jurisdiction, in order to serve as a parameter for monitoring maintenance actions on the country's road network. To this end, a methodology called the Maintenance Condition Index (ICM) was created, which is obtained from field surveys, seeking to classify each segment into four categories: terrible, bad, fair or good. The ICM calculation is made up of the Paving Index (IP), which are evaluated: patches, pans and cracks), which represents 70% of the final value, and the Conservation Index (IC), where drainage devices are evaluated. , mowing and horizontal and vertical signage), which represents the remaining 30%. Thus, this bibliographic review aims to present infor-



mation on the current method of evaluating and monitoring Brazilian highway maintenance actions used by DNIT.

Keywords: ICM; highways; road mode.

INTRODUÇÃO

De acordo com Gurjão *et al.* (2020) apesar da importância do modal rodoviário para o desenvolvimento nacional, as rodovias brasileiras possuem elevado grau de degradação. Carlesso (2017) destaca que os problemas de degradação da malha rodoviária estão relacionados ao aumento constante do volume de tráfego de veículos e das cargas provenientes destes, a ausência de controle eficiente destes carregamentos e o mal dimensionamento, a caracterização e a escolha de materiais. Silva e Farias (2020) também apontam que a deterioração verificada nos pavimentos brasileiros é causada em grande parte pelo excesso de carga por eixo dos veículos transportadores e pela falta de manutenção das rodovias, aliada às intempéries.

Esta questão tem sido amplamente debatida pelo meio técnico rodoviário e tem estimulado o interesse por soluções viáveis, visto que as condições das rodovias brasileiras é um dos principais pontos que pode prejudicar a competitividade de mercado, uma vez que pode ocasionar um aumento no custo operacional veicular, podendo ser repassado à mercadoria transportada (Confederação Nacional de Transportes - CNT, 2019).

Sendo assim, verifica-se a necessidade de uma gestão eficiente da matriz de transportes rodoviário, procurando melhorar as condições de trafegabilidade das vias, (Bernucci *et al.*, 2008). Para Wang, *et al.* (2020), as condições do pavimento, assim como seu comportamento e vida útil, estão ligadas a sua execução, e devem conter materiais e técnicas eficientes, e às intempéries climáticas, tendo em vista que essas estruturas não podem apresentar contato direto com água, a não ser que sejam dimensionadas para tal situação.

Conforme Bernucci *et al.* (2008), no Brasil, existem algumas metodologias para examinar as condições da infraestrutura rodoviária, dentre eles, destaca-se a avaliação estrutural (medição da capacidade suporte da via e como suas camadas irão responder às cargas impostas pelo tráfego e ambiente) e a avaliação funcional (ICM), sendo esta responsável por quantificar a utilidade da rodovia, sendo a avaliação funcional objeto deste presente estudo. Essas avaliações são critérios de escolha para o momento de intervenção corretiva ou reforço da estrutura (Bernucci *et al.*, 2008).

Nesse contexto, o ICM possui o propósito de avaliação da superfície do pavimento, sendo o principal estudo que influi na segurança e conforto do usuário, bem como na conservação qualitativa da infraestrutura rodoviária, abrangendo as condições dos dispositivos de drenagem, sinalização vertical e horizontal e roçada. Vale ressaltar que a metodologia do ICM serve de referência para acompanhar ações preventivas e corretivas realizadas na malha rodoviária, atuando como balizador para as manutenções devidas, permitindo a identificação das deficiências das rodovias pavimentadas e não pavimentadas (DNIT, 2017).

Nesta temática, este trabalho dedica-se ao estudo do ICM, o qual atua como balizador para determinar as condições gerais das vias (englobando defeitos na superfície, drenagem, sinalização e roçada), visando identificar as manutenções necessárias. Deste modo, este trabalho objetiva apresentar uma revisão bibliográfica sobre o atual método de aferição e acompanhamento das ações de manutenção empregada pelo DNIT.

METODOLOGIA DO ICM

O ICM foi elaborado para uniformizar a avaliação das rodovias pavimentadas brasileiras, trazendo parâmetros de aferição e acompanhamento das ações de manutenção. Resulta da ponderação do Índice da Condição do Pavimento (ICP) e do Índice da Condição da Conservação (ICC).

Os levantamentos são realizados seguindo as diretrizes da Instrução de Serviço (IS)/Colegiada nº 16, de 31 de julho de 2019.

O levantamento ocorre de forma presencial, km a km. A bordo do veículo seguem o motorista e o avaliador. Após percorrida a extensão de 1000 metros com velocidade máxima de 60km/h, no marco quilométrico, o avaliador realiza o lançamento dos dados obtidos em software específico. Para os segmentos de pista simples e duplas, a avaliação se deu somente em um sentido, considerando ambas as faixas.

Crítérios para avaliação do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

O ICP é obtido a partir da avaliação da quantidade de painéis e remendos, bem como a porcentagem de trincamentos, em intervalos de 1 em 1 quilômetro do trecho.

A princípio, é aferida a intensidade dos defeitos e a frequência com que eles aparecem na pista (Tabela 1), conforme os parâmetros da Instrução de Serviço nº 16.

Tabela 1 - Frequência de ocorrência para elementos de pista de rolamento.

Patologia	Baixo	Médio	Alto	Unidade
Panela	Panela < 2	2 < Panela < 5	Panela > 5	Quantidade / km
Remendo	Remendo < 2	2 < Remendo < 5	Remendo > 5	Quantidade / km
Trincamento	Trincamento < 10%	10% < Trincamento < 50%	Trincamento > 50%	% da área

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A Instrução de Serviço estabelece uma pontuação correspondente ao grau de severidade, em que varia de 0,25 a 1,00, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores a serem utilizados de acordo com a frequência de ocorrência relacionadas ao IP.

Defeitos	Baixo	Médio	Alto
Panelas	0,25	0,50	1,00
Remendos	0,25	0,50	1,00
Trincamento	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Posteriormente, essas pontuações são aplicadas na Equação 1, para determinação

do IP por km.

$$IP = P_{\text{Painelas}} \times 50 + P_{\text{Remendos}} \times 30 + P_{\text{Trincamento}} \times 20 \quad [1]$$

O IP varia até 100, onde:

IP próximos a 0, indicam um pavimento em boas condições; e

IP próximos a 100, indicam um pavimento em más condições.

Critérios para Avaliação do IC

O IC é obtido a partir da avaliação do estado da drenagem, da sinalização horizontal e vertical, bem como da altura da vegetação, em intervalos de 1 em 1 quilômetro do trecho.

A princípio, é aferida a intensidade do estado de conservação ao longo do segmento (Tabela 3), conforme os parâmetros da Instrução de Serviço nº 16.

Tabela 3 - Nível de conservação.

Serviço	Bom	Regular	Ruim
Roçada	Vegetação rasteira com altura máxima de 30cm	Vegetação acima de 30cm, mas que não afeta a visibilidade da sinalização vertical	Vegetação alta que afeta a visibilidade da sinalização vertical
Drenagem	Dispositivos superficiais íntegros e caiados	Dispositivos superficiais com quebras localizadas e sem caiação	Dispositivos quebrados ou ausentes
Sinalização	Elementos verticais e horizontais visíveis e em boas condições	Elementos verticais e horizontais parcialmente faltantes e desgastados	Elementos verticais e horizontais faltantes e desgastados

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A seguir, a Instrução de Serviço estabelece uma pontuação correspondente para cada intensidade de defeitos, variando de 0,25 a 1,00, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores a serem utilizados de acordo com o nível de conservação indicado.

Conservação	Bom	Regular	Ruim
Roçada	0,25	0,50	1,00
Drenagem	0,25	0,50	1,00
Sinalização	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Em seguida, essas pontuações são aplicadas na Equação 2, de onde se obtém o IC do km.

$$IC = P_{\text{Roçada}} \times 30 + P_{\text{Drenagem}} \times 20 + P_{\text{Sinalização}} \times 50 \quad [2]$$

Desta forma, o IC varia até 100, onde:

IC próximos a 0, indicam um bom estado de conservação; e

IC próximos a 100, indicam um mau estado de conservação.

Definição do ICM

O ICM é calculado pela Equação 3, sendo que o IP representa 70% do valor final do ICM, bem como o IC representa os 30% restantes.

$$ICM = IP \times 0,70 + IC \times 0,30 \quad [3]$$

Onde:

ICM: Índice da Condição da Manutenção;

IP: Índice do Pavimento; e

IC: Índice da Conservação.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores definidos para cada grau de severidade.

Tabela 5 - Valores a serem utilizados de acordo com a frequência de ocorrência relacionadas ao IP.

Defeitos	Baixo	Médio	Alto
Panelas	0,25	0,50	1,00
Remendos	0,25	0,50	1,00
Trincamento	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).





Tabela 6 - Valores a serem utilizados de acordo com o nível de conservação indicado.

Conservação	Bom	Regular	Ruim
Roçada	0,25	0,50	1,00
Drenagem	0,25	0,50	1,00
Sinalização	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A definição do estado da condição da manutenção dependerá exclusivamente do resultado encontrado após a aplicação da Equação do ICM, onde o segmento será classificado conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - ICM.

Cor	Faixa	Condição	Nível de Conservação
	ICM < 30	Bom	Conserva Rotineira
	30 < ICM < 50	Regular	Conserva Leve
	50 < ICM < 70	Ruim	Conserva Pesada Nível 1
	ICM > 70	Péssimo	Conserva Pesada Nível 2

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Frequência e Informações Adicionais

A periodicidade deste levantamento é mensal. Após concluído o percurso de toda a malha, os dados são sincronizados por meio do software específico do DNIT, passando a integrar o sítio eletrônico: <http://servicos.dnit.gov.br/dnitgestao/icm/Home/Index> e estando disponíveis para consultas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou apresentar uma revisão bibliográfica sobre o atual método de aferição e acompanhamento das ações de manutenção empregado pelo DNIT. A partir do estudo realizado, pode-se concluir que o ICM possui o propósito de avaliar as condições da superfície do pavimento, sendo o principal parâmetro que influi na segurança e conforto da rodovia.

De modo geral, observou-se que o ICM age como balizador para determinar as condições gerais das vias, pretendendo identificar as manutenções necessárias da malha rodoviária.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1 ed. Rio de Janeiro, PETROBRAS/ABEDA, 2008.
- CARLESSO, G. C. **Estudo do comportamento de mistura asfáltica modificada por nanoargila e polímero SBS**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- CONFEDERAÇÃO Nacional de Transportes (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: relatório gerencial**. Brasília: CNT, 2019.
- DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT Nº 16/2019: Instrução de Serviço. Colegiada - metodologia para utilização de ICM**. Rio de Janeiro, 2019.
- DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DINT: Termo de Referência**. Processo nº. 50600.030684/2017-30, 2017.
- GURJÃO, N. O.; MOREIRA, F. S.; GRANJEIRO, S. L. S.; ALMEIDA, L. C. **Avaliação do índice de condição da manutenção rodoviária em função de dados pluviométricos do Ceará**. In: 34º ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2020, Online. Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2020. p. 979-990.
- SILVA, J. P. S.; FARIAS, M. M. **Estudo dos efeitos de produtos rejuvenescedores no comportamento físico, químico e reológico de ligante asfáltico envelhecido**. Transportes, v. 28, p. 91-102, 2020.
- WANG, W.; WANG, L.; MIAO, Y.; CHENG, C.; CHEN, S. **A survey on the influence of intense rainfall induced by climate warming on operation safety and service life of urban asphalt pavement**. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. Vol. 1, n. 4, 2020.

A manutenção industrial como metodologia para inovação organizacional

Industrial maintenance as a methodology for organizational innovation

Felipe Gomes de Almeida Pereira

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0009-0006-8005-2899>

Gabriel Matias Costa

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0009-0005-1427-1201>

Valmir Geraldo de Souza Júnior

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. https://orcid.org/0009-0001-2308-648X_

Deocleciano Reis Martins

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0000-0001-5576-6343>

Antonio Carlos Santos de Arruda

Faculdade de Tecnologia de Osasco - FATEC. <https://orcid.org/0000-0002-5031-2825>

RESUMO

Tem-se percebido uma ampla evolução na gestão da manutenção industrial, a qual possui estreita relação com a tecnologia o desenvolvimento organizacional e a inovação. Através disso tem-se resolvido problemas relativos à degradação e obsolescência, aumentado a produtividade organizacional e diminuído os custos de manutenção. Sendo assim, a manutenção adequada é fundamental para o desempenho eficaz das atividades organizacionais. Portanto, percebe-se a necessidade de um modelo de gestão e planejamento mais racional. Diante disso, a presente pesquisa parte do seguinte problema: “como a manutenção industrial pode ser utilizada como método de promoção da inovação industrial?”. Além disso, o objetivo geral é compreender como a manutenção industrial atua para promoção da inovação organizacional. A metodologia utilizada de revisão da literatura, de caráter qualitativo, exploratório e bibliográfico e natureza básica, mediante a análise de obras literárias, artigos e ensaios científicos de autores que abordam sobre manutenção industrial. Com a presente pesquisa, procura-se descobrir a adoção de ferramentas de inovação organizacional e manutenção preditiva diminui custos e eleva a produtividade da empresa.

Palavras-chave: manutenção industrial; manutenção preditiva; inovação organizacional.



ABSTRACT

It has been noticed a broad evolution in industrial maintenance management, which has a close relationship with technology, organizational development, and innovation. Through this, problems related to degradation and obsolescence have been solved, organizational productivity has been increased, and maintenance costs have been reduced. Therefore, proper maintenance is fundamental for the effective performance of organizational activities. Thus, the need for a more rational management and planning model is evident. In light of this, the present research starts from the following problem: “how can industrial maintenance be used as a method to promote industrial innovation?”. Furthermore, the general objective is to understand how industrial maintenance acts to promote organizational innovation. The methodology used is the literature review, of a qualitative, exploratory, and bibliographic nature and basic nature, through the analysis of literary works, articles, and scientific essays by authors who discuss industrial maintenance. With this research, it seeks to discover whether the adoption of organizational innovation tools and predictive maintenance decreases costs and increases company productivity.

Keywords: Industrial maintenance; predictive maintenance; organizational innovation.

INTRODUÇÃO

O conceito de manutenção sofreu uma evolução cujas razões estão relacionadas com o desenvolvimento organizacional e tecnológico, e com a revolução das tecnologias de informação e comunicação. Originalmente, o atendimento era quase que exclusivamente voltado para a mera preservação de itens, mas com o advento da revolução da informática, surgiu um novo conceito de organização produtiva. A manutenção está se tornando uma nova forma de ciência, que tende a combater as causas de obsolescência e degradação resultantes do uso e envelhecimento.

As atividades de manutenção podem contribuir significativamente para a produtividade de um sistema, porém, seu custo tanto em termos de recursos técnicos quanto econômicos pode se tornar bastante relevante. A manutenção adequada é de suma importância para o bom funcionamento de qualquer máquina, não é por acaso que a avaliação de risco de uma máquina é significativamente influenciada pelo nível de serviço esperado e praticado (Espindula, 2021). Por isso, o problema da manutenção é central no debate e na atenção dos operadores do setor. A tendência atual não é tanto a necessidade de um aumento geral das intervenções, mas de um planejamento e gestão mais racionais.

Essa pesquisa se justifica porque em diversas áreas da produção industrial, a terceirização de serviços de manutenção não é uma opção devido à sua forte ligação com a produção e, portanto, com o produto. Os ativos e equipamentos produtivos não podem ser avaliados separadamente do *core business*, pois são necessários para a obtenção do produto. O papel estratégico da manutenção industrial informatizada é introduzir novas abordagens e – o mais importante – novas ferramentas para integrar todos os colaboradores envolvidos no processo, sejam eles internos ou externos, e permitir que eles interajam entre si.

Portanto, desempenha o papel principal na definição de como os recursos humanos, econômicos e técnicos devem ser coordenados para atingir o objetivo do negócio, promovendo a inovação organizacional. Dessa forma, a presente pesquisa parte do seguinte problema: “como a manutenção industrial pode ser utilizada como método de promoção da inovação industrial?”. Além disso, o objetivo geral é compreender como a manutenção industrial atua para promoção da inovação organizacional. Os objetivos específicos são: (a) discutir sobre gestão da manutenção industrial; (b) apresentar a importância da manutenção para a indústria; e (c) relacionar a manutenção industrial e a promoção da inovação organizacional.

REFERENCIAL TEÓRICO

Gestão da manutenção industrial

A gestão da manutenção tem suas origens na indústria de manufatura. A capacidade de aproveitar o vapor para energia, o transporte ferroviário e a invenção da comunicação básica (telefones e rádio) sinalizaram o início da Primeira Revolução Industrial (século XVIII) e a mudança gradual do trabalho humano para a produção de máquinas. As fábricas manejavam suas máquinas de maneira simples, ou seja, usando-as até que quebrem e consertando somente quando não pudessem mais funcionar (Arruda, 2019).

O foco era a manutenção corretiva e não havia nenhum tipo de manutenção programada. Naquela época, o tempo de inatividade não era tão crítico quanto hoje, portanto, a execução de ativos em manutenção de avaria não era vista como um grande problema (Da Rosa, 2020). No entanto, (Da Rosa, 2020) afirmam que com a Segunda Revolução Industrial vieram as máquinas movidas a eletricidade que criaram a necessidade de uma manutenção mais sofisticada. Os engenheiros da fábrica gradualmente se tornaram mais proativos em cuidar deles, identificando e estabelecendo um padrão de manutenção baseado na frequência, ou seja, substituição de peças em intervalos específicos.

Na década de 1950, a indústria estava passando por uma rápida reconstrução para se recuperar dos efeitos posteriores da Segunda Guerra Mundial, especialmente na Alemanha e no Japão. O espaço de fabricação tornou-se cada vez mais competitivo e a tolerância para o tempo de inatividade na indústria despencou. Os engenheiros japoneses iniciaram uma nova tendência que envolvia seguir as instruções do fabricante sobre os cuidados com cada máquina durante a operação. Essa tendência deu origem ao que hoje conhecemos como “manutenção preventiva”. Aos poucos, eles incentivaram os técnicos e outros especialistas responsáveis pelas máquinas a desenvolverem cronogramas de lubrificação dos equipamentos, anotando e relatando as observações para evitar danos às máquinas (Arruda, 2019).

Embora isso reduzisse significativamente o tempo de inatividade, ainda era um empreendimento caro e ineficiente. As peças ainda estavam sendo substituídas com base no tempo estrito, mesmo quando poderiam ter funcionado por mais tempo. Na década de 1960, o impulso para estratégias de manutenção mais eficientes recebeu um impulso após a chegada do Boeing 747. A indústria aeronáutica precisava de maior confiabilidade; uma

estratégia de manutenção com uma estrutura clara para fazer o quê e quando fazer, o que pode reduzir os acidentes (Arruda, 2019).

De acordo com Da (Rosa,2020), assim nasceu a manutenção centrada na confiabilidade, o termo foi usado pela primeira vez em público pela United Airlines. Pouco tempo depois, o conceito foi rapidamente adotado por outras indústrias, que a reconhecer a manutenção como uma estratégia central e não como um complemento, eles passaram a reconhecer seu impacto no lucro. Desde então, as gerações subsequentes de profissionais de manutenção adotaram cada vez mais elementos proativos em sua estratégia de manutenção, o que resultou no desenvolvimento de outras estratégias de manutenção, como manutenção baseada em risco e manutenção produtiva total (De Figueiredo, 2019).

Atualmente, a manutenção não pode mais ser separada das novas tecnologias. Dessa forma, aprimorar as operações para se tornarem compatíveis com práticas de manutenção de classe mundial exige que os profissionais pesquisem e entendam como interagir melhor com uma máquina. Uma área que continua a receber grandes inovações e, portanto, merece consideração séria é a manutenção preditiva, especialmente a automatizada (Arruda, 2019). Conforme Da Rosa, (2020), particularmente no setor de manufatura, em vez da prática anterior de usar a manutenção preditiva para monitorar máquinas individuais, as empresas exploram a implantação de sensores inteligentes nas fábricas. Essas “fábricas inteligentes” possuem uma variedade de sistemas conectados com sensores que coletam dados, os trocam e respondem a eles para aumentar a produtividade e a eficiência. É válido ressaltar que essa troca acontece com intervenção mínima ou zero de operadores humanos.

Manutenção e sua importância para a indústria

Antigamente, a manutenção industrial dentro de uma empresa consistia em garantir os reparos indispensáveis ao bom funcionamento da produção. As ferramentas técnicas e a digitalização permitem agora evitar avarias com tal precisão que os custos de manutenção são reduzidos enquanto a produção é quase ininterrupta. A manutenção industrial é uma etapa fundamental no processo produtivo, pois evita a desaceleração ou paralisação, mesmo que temporária, da fabricação (Santos, 2021).

A indústria do futuro está mudando a manutenção industrial para que as operações de reparo ou revisão se tornem quase inexistentes graças à manutenção preditiva ou proativa. O objetivo é que as paradas que causam grande perda de produtividade sejam reduzidas ou mesmo eliminadas. O estado em que os equipamentos em manutenção devem ser mantidos é definido a montante pelos especialistas da área (Espindula, 2021).

A manutenção corretiva repara enquanto anuncia a manutenção do futuro. A manutenção preventiva, como o nome sugere, ocorre antes da interrupção para minimizar a degradação de peças ou componentes de um equipamento. O objetivo é não esperar a paralisação para agir, a fim de reduzir os custos e a escala da intervenção (Zyrianoff *et al.*, 2021). A digitalização da manutenção preventiva permite obter informações em tempo real altamente confiáveis facilitando o trabalho dos operadores de manutenção, pois as intervenções deixam de ocorrer em caso de emergência. Eles são planejados e executados em melhores condições do que um reparo essencial para reiniciar uma linha de produção (Espindula, 2021).

O próximo passo para a manutenção proativa foi alcançado com a inteligência artificial, que permite entrar na era da antecipação e interoperabilidade, que consiste em conectar os equipamentos entre si. Ao analisar os dados de uso da máquina e vários indicadores-chave de desempenho, as avarias são previstas de forma ainda mais confiável (Zyrianoff, 2021).

Conforme Sacramento, (2020), a principal vantagem da manutenção proativa consiste em garantir a intervenção o mais rapidamente possível antes da avaria. Assim, o número de verificações e manutenções é reduzido, garantindo o funcionamento ininterrupto do equipamento. A vantagem final da manutenção do futuro é que ela não requer necessariamente intervenção humana em comparação com o reparo. A economia de tempo é considerável, os custos são reduzidos e as habilidades humanas são usadas em toda a sua extensão para tarefas mais complexas do que reparos assim, agregando valor ao negócio.

Manutenção preditiva e *machine learning*

A manutenção preditiva representou uma significativa quebra de paradigma, conforme observado por Kardec e Nascif (2019). Trata-se de uma abordagem avançada de gestão de manutenção com o propósito de antecipar falhas em equipamentos antes de sua ocorrência. Ao contrário da manutenção corretiva, realizada após a falha, a abordagem preditiva possibilita à equipe de manutenção realizar reparos e manutenções planejadas, evitando falhas e aumentando a eficiência do equipamento.

Essa metodologia se baseia na coleta e análise de dados de desempenho do equipamento, os quais são utilizados para prever possíveis falhas (Kardec e Nascif, 2019). A prevenção de falhas é alcançada através do monitoramento de diversos parâmetros, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

A combinação de *Machine Learning* e Manutenção Preditiva tem se mostrado uma sinergia poderosa. O *Machine Learning* utiliza algoritmos e modelos estatísticos para possibilitar que os sistemas de computador aprendam, resultando em melhorias significativas nas operações das organizações. Essas melhorias incluem a redução de custos de manutenção, aumento do tempo de atividade do equipamento e aprimoramento da segurança. Em meio à era atual da Indústria 4.0, as organizações buscam inovações para melhorar suas operações e permanecerem competitivas.

A manutenção preditiva se desdobra em duas abordagens principais: *offline* e *online*. Ambas oferecem a opção de monitoramento contínuo (*online*/intermitente) e intermitente (*offline*). O uso de monitoramento *offline*, realizado por meio de um coletor de dados, abrange o acompanhamento preditivo de muitas máquinas de menor criticidade na planta. A diferença reside no fato de que esse acompanhamento, via coletor de dados, está integrado ao sistema maior e processado da mesma forma que os dados da monitoração online (Kardec e Nascif, 2019).

A manutenção preditiva *offline* implica a coleta e análise de dados de desempenho e condição dos equipamentos por meio de sensores e dispositivos de monitoramento. Os dados coletados são então analisados por meio de técnicas de *Machine Learning*,

identificando padrões e anomalias para possibilitar decisões informadas sobre a manutenção necessária.

Já a manutenção preditiva *online* envolve o monitoramento em tempo real dos equipamentos, utilizando sensores e dispositivos de monitoramento conectados à Internet das Coisas (IoT). Isso viabiliza a detecção imediata de falhas potenciais, permitindo uma resposta rápida e eficaz.

O *Machine Learning* desempenha um papel crucial na manutenção preditiva, analisando e interpretando os dados coletados. Algoritmos de *Machine Learning* aprendem com dados históricos, identificando padrões e tendências para prever falhas futuras. Essa capacidade adaptativa baseada em dados é o que torna a manutenção preditiva tão eficaz.

Por fim, a manutenção preditiva, tanto *offline* quanto *online*, aliada ao *Machine Learning* e à IoT, representa uma abordagem avançada e inovadora para a gestão de equipamentos, permitindo a previsão de falhas, facilitando a programação de manutenções preventivas e reduzindo os custos associados a paradas não planejadas.

Manutenções preditiva e aprendizado de máquina: o futuro da gestão de ativos

A manutenção preditiva, aliada ao aprendizado de máquina, é uma abordagem revolucionária para a gestão de ativos, oferecendo uma série de vantagens significativas para as organizações. Ao antecipar falhas e necessidades de manutenção com base em dados em tempo real, ela otimiza a eficiência operacional, reduzindo o tempo de inatividade e os custos associados à manutenção corretiva.

Esta técnica também estende a vida útil dos equipamentos, permitindo a substituição apenas das peças necessárias, o que se traduz em economia de custos e maior retorno financeiro. Para alcançar esses resultados, a manutenção preditiva utiliza uma variedade de técnicas e tecnologias, incluindo coleta de dados em tempo real, sensores avançados e análise de dados por meio de algoritmos e modelos preditivos.

Apesar de seus benefícios, a implementação da manutenção preditiva enfrenta desafios, como a necessidade de sistemas sofisticados de monitoramento e análise, bem como a garantia da integridade e confiabilidade dos dados coletados. Além disso, a integração da inteligência artificial (IA) promete avançar ainda mais essa abordagem, oferecendo análises mais precisas e automação de processos, embora também apresente desafios, como a obtenção de dados de treinamento adequados e a consideração de questões éticas e de transparência.

Assim, a combinação da manutenção preditiva com o aprendizado de máquina representa o futuro da gestão de ativos, proporcionando informações precisas para melhorar a eficiência operacional e a rentabilidade das organizações.

Manutenção industrial e inovação organizacional

Conforme Zyrianoff *et al.* (2021), o aspecto mais importante a ser considerado por um gerente de manutenção é buscar maneiras de desviar o foco da tentativa de corrigir um problema depois que ele ocorreu e adotar uma abordagem mais proativa para lidar com os

problemas antes que eles apareçam. Por isso, hoje, a manutenção industrial representa uma função estratégica real da indústria de amanhã para enfrentar os desafios financeiros, é claro, mas também a segurança e o meio ambiente. Uma máquina cuja falha é prevista corresponde a um equipamento mais seguro, cujo fim de vida e reciclagem também serão mais bem gerenciados gerando ganhos para indústria.

Com o objetivo de reduzir custos e prazos, melhorando a qualidade dos serviços prestados, o Computer Aided Maintenance Management, ou CAMM, representa uma ferramenta digital integrada ao sistema informatizado de operações industriais. Essa ferramenta de manutenção preventiva e preditiva facilita o trabalho das equipes de manutenção ao mesmo tempo que oferece uma visão global que um operador teria dificuldade em obter apenas com base nos seus conhecimentos e análises. Ao melhorar a qualidade das operações de manutenção, a empresa reduz ainda mais o risco de paradas em caso de falha do equipamento. O *Computer Aided Maintenance Management* assegura a manutenção de toda a indústria (equipamentos, edifícios e máquinas) de acordo com o estado previamente definido. Assim, a lucratividade aumenta e os custos de manutenção diminuem.

Promoção da inovação organizacional na indústria

A inovação é uma importante fonte de crescimento e um fator determinante de vantagem competitiva para muitas organizações. Alcançar a inovação requer esforços coordenados de muitos atores diferentes e a integração de atividades em funções especializadas, domínios de conhecimento e contextos de aplicação, assim, a criação organizacional é fundamental para o processo de inovação.

A capacidade de inovação de uma organização é uma pré-condição para a utilização bem-sucedida de recursos inventivos e novas tecnologias (Dos Santos, 2020). Por outro lado, a introdução de novas tecnologias muitas vezes apresenta oportunidades e desafios complexos para as organizações, levando a mudanças nas práticas gerenciais e ao surgimento de novas formas organizacionais.

A literatura existente sobre inovação organizacional é muito diversificada e pode ser amplamente classificada em três correntes. As teorias de *design* organizacional concentram-se predominantemente na ligação entre as formas estruturais e a propensão de uma organização para inovar (Dos Santos, 2020).

As teorias da cognição e aprendizagem organizacional, por outro lado, enfatizam os fundamentos cognitivos da inovação organizacional que se relacionam com o processo de aprendizagem e criação de conhecimento organizacional. Esta linha de trabalho fornece uma microlente para entender a capacidade das organizações de criar e explorar novos conhecimentos necessários para atividades inovadoras (Sartori; Facco; Garrido, 2022).

De acordo com Sartori, Facco e Garrido (2022), uma terceira linha de pesquisa diz respeito à mudança e adaptação organizacional e aos processos subjacentes à criação de novas formas organizacionais. Seu foco principal é entender se as organizações podem se adaptar diante de mudanças ambientais radicais e mudanças tecnológicas. Neste contexto, conforme Rauta (2020), a inovação é considerada como uma capacidade de responder

às mudanças no ambiente externo, e de influenciá-lo e moldá-lo. Esta linha de trabalho fornece uma microlente para entender a capacidade das organizações de criar e explorar novos conhecimentos necessários para atividades inovadoras.

A teoria clássica do *design* organizacional foi marcada por uma preocupação com formas universais e a ideia de “uma melhor maneira de organizar”. O trabalho de Weber (1947) sobre a burocracia e de Chandler (1962) sobre a forma multidivisional foi o mais influente. A teoria da contingência defende que a ‘estrutura mais apropriada’ para uma organização é aquela que melhor se adapta a uma determinada contingência operacional, como escala de operação, tecnologia ou ambiente.

As tipologias polares de Burns e Stalker (1961) de organizações mecanicistas e orgânicas demonstram como as diferenças no ambiente tecnológico e de mercado, em termos de taxa de mudança e complexidade, afetam as estruturas organizacionais e a gestão da inovação. As firmas podem ser agrupadas em um dos dois tipos principais: as primeiras, mais rígidas e hierárquicas, adequadas às condições estáveis; e o último, um conjunto mais fluido de arranjos, adaptando-se a condições de rápida mudança e inovação. Nenhum dos tipos são inerentemente certos ou errados, mas o ambiente da empresa é a contingência que induz uma resposta estrutural.

O modelo de Burns e Stalker permanece altamente relevante para a compreensão dos desafios contemporâneos enfrentados por muitas organizações em suas tentativas de se afastar do mecanicista em direção à forma orgânica de organização, à medida que a inovação se torna mais importante e o ritmo das mudanças ambientais se acelera (De Oliveira Moraes; Maria; De Oliveira, 2021).

Outra importante contribuição inicial é o trabalho de Mintzberg (1979), que sintetizou grande parte do trabalho sobre estrutura organizacional e propôs uma série de arquétipos que fornecem as configurações estruturais básicas de empresas que operam em diferentes ambientes. Alinhado com a teoria da contingência, ele argumenta que a organização bem-sucedida projeta sua estrutura para corresponder à sua situação (De Oliveira Moraes; Maria; De Oliveira, 2021).

Além disso, desenvolve uma configuração lógica dos parâmetros de projeto. Em outras palavras, a estruturação eficaz requer consistência de parâmetros de projeto e fatores de contingência. A hipótese configuracional sugere que as empresas provavelmente serão dominadas por um dos cinco arquétipos puros identificados por Mintzberg, cada um com potencial inovador diferente: estrutura simples, burocracia mecanizada, burocracia profissional, forma divisionalizada e adhocracia (De Oliveira Moraes; Maria; De Oliveira, 2021).

Conforme Sartori, Facco e Garrido (2022), dois desses arquétipos podem ser classificados como organizações orgânicas com alta capacidade de inovação e adaptação: a estrutura simples e a adhocracia. A primeira conta com a supervisão direta de uma pessoa, como no caso das *start-ups* empreendedoras, que buscam continuamente ambientes de alto risco. Esta última é uma organização baseada em projetos altamente flexível, baseada no ajuste mútuo de equipes de solução de problemas. É capaz de inovação radical em um ambiente volátil. Os outros três arquétipos remanescentes, a burocracia mecanizada, a

burocracia profissional e a forma divisionalizada são mais inibidos em suas capacidades inovadoras e menos capazes de lidar com novidades e mudanças.

MÉTODOS OU METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão da literatura, de caráter qualitativo, exploratório e bibliográfico e natureza básica, mediante a análise de obras literárias, artigos e ensaios científicos de autores que abordam sobre manutenção industrial. Um artigo de revisão segundo Lakatos e Marconi (1987) é uma pesquisa qualitativa que visa encontrar evidências para compreender determinado fenômeno em profundidade. A busca de materiais foi realizada de modo *online*, consultando sites acadêmicos em geral e da área de computação, dentre eles Scielo, Periódicos Capes, Google Acadêmico, entre outros. No momento da busca foram aplicados os seguintes descritores para a filtragem: “manutenção industrial”, “manutenção preditiva” “inovação organizacional”.

Para um melhor direcionamento da pesquisa, foi dada a preferência aos materiais publicados nos últimos 5 anos, salvo para referências importantes da área, no idioma português ou inglês e que tenham algum dos descritores no título.

RESULTADOS, ANÁLISE OU DISCUSSÕES

A gestão eficiente da manutenção assume um papel crítico na operação de plantas industriais, considerando que uma única falha pode desencadear a parada de toda a produção, resultando em custos significativos e perdas financeiras substanciais. Para mitigar esses riscos, é imperativo desenvolver programas de manutenção abrangentes, incorporando atividades de inspeção e investigação preventiva. Tais ações não apenas visam reduzir a magnitude potencial das consequências (ações protetoras) como também aprimorar a probabilidade de ocorrência (ações preventivas). Esse esforço colaborativo envolve não apenas os profissionais de manutenção, mas também diversas áreas de negócios, como engenharia de manutenção, gerenciamento de riscos e direção técnica (Santos, 2021).

Os impactos dos procedimentos de manutenção reverberam em vários níveis nas empresas de produção, enfocando especificamente aspectos patrimoniais, tecnológicos, econômicos e sociais/legal. Do ponto de vista patrimonial, as plantas industriais representam investimentos substanciais que precisam ser otimizados para garantir retorno financeiro. No âmbito tecnológico, a condição inadequada dos sistemas pode comprometer a qualidade dos produtos ou serviços prestados. No campo econômico, defeitos e perdas de produção têm um impacto direto nos lucros. Por fim, do ponto de vista social/legal, equipamentos em más condições podem resultar em acidentes, poluição e questões de segurança, destacando a importância de um programa de manutenção eficaz (Zyrianoff *et al.*, 2021).

A falta de sensibilidade em relação à necessidade de manutenção industrial, conforme apontado por Sacramento (2020), muitas vezes deriva da falta de consciência sobre os benefícios do investimento em manutenção e da escassez de pesquisas sobre os efeitos a longo prazo das escolhas estratégicas nesse âmbito. A adoção de uma estratégia

de manutenção reativa, baseada na correção de falhas após sua ocorrência, pode resultar em diversos desafios de gestão, incluindo aumento do risco de avarias imprevisíveis com impacto econômico significativo e dificuldades na previsão e alocação de recursos orçamentários.

Portanto, é crucial redefinir a visão tradicional da manutenção como uma função periférica à produção e integrá-la como parte fundamental desse processo. O estudo das causas técnicas e humanas das falhas, com o objetivo de preveni-las, torna-se essencial. A manutenção deve abranger todas as ações que buscam organizar os recursos de forma a maximizar a eficácia e eficiência do serviço, otimizando assim a eficiência econômica global do sistema produtivo (Zyrianoff, 2021).

Neste contexto em evolução, Santos *et al.* (2021) ressaltam que a imagem da manutenção está passando por transformações, reconhecendo a interconexão entre o mundo mecânico, digital e da tecnologia da informação. A manutenção preditiva emerge como peça fundamental para aumentar a eficiência operacional, e a função do gestor de manutenção torna-se cada vez mais dependente da utilização eficaz de dados provenientes dos sistemas disponíveis. Modelos de negócios inovadores destacam a importância crescente da manutenção preditiva, evidenciando a necessidade de uma abordagem orientada por dados para garantir eficiência e eficácia nas operações de manutenção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inovação tornou-se ao longo das últimas décadas o ponto focal para a maioria das empresas do mercado industrial devido à concorrência e à necessidade acentuada de melhorar o desempenho empresarial, destacando a importância da manutenção industrial como um método para integrar novas abordagens e ferramentas. A capacidade de inovação é essencial para o sucesso em um ambiente de rápida mudança e complexidade, e várias teorias, como as de cognição, aprendizagem organizacional, mudança e adaptação organizacional são exploradas para entender melhor esse processo.

Ao longo das décadas, vimos a evolução das estratégias de manutenção, desde a manutenção corretiva até a manutenção preditiva e proativa, impulsionada por avanços tecnológicos, essas abordagens modernas visam antecipar falhas e minimizar o tempo de inatividade, aumentando assim a eficiência operacional e reduzindo custos. A combinação de manutenção preditiva, *machine learning* e a inteligência artificial (IA) representa uma abordagem avançada e inovadora para a gestão de equipamentos industriais, ao analisar dados em tempo real e identificar padrões, essas técnicas permitem uma manutenção mais eficiente e programada.

As empresas chegaram à conclusão de que, ao adotar a inovação em seus processos de monitoramento, seus sistemas tendem a se tornar mais flexíveis do que o normal e capazes de se adaptar a múltiplas situações, sejam elas inesperadas ou não.

Concluindo, as organizações que buscam inovação e adaptação eficazes devem considerar cuidadosamente suas estruturas e processos organizacionais, garantindo que estejam alinhados com suas metas e contexto operacional. A capacidade de inovar e se

adaptar de forma ágil e eficiente é essencial para o sucesso em um ambiente empresarial em constante evolução.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Nathan da Silva. **Implementação de um sistema de gestão de manutenção preventiva industrial**. 2019.
- DA ROSA, Silvio Cesar Ferreira *et al.* **Análise da Gestão da Manutenção em uma empresa de transformação de polímeros**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 6, n. 3, p. 0377-0382, 2020.
- DE FIGUEIREDO, Danielle Lima. **Gestão da Manutenção: Metodologias e Ferramentas para análises de Falhas**. 2019.
- DE OLIVEIRA MORAIS, Marcos; MARIA, Diogo Fernando; DE OLIVEIRA, Leandro Marcelino. **A Inovação e a Indústria 4.0: Proposta para utilização de elementos para uma organização competitiva**. Research, Society and Development, v. 10, n. 8, p. e51210817685-e51210817685, 2021.
- DOS SANTOS, Jadir Perpétuo *et al.* **Indústria 4.0-Esforços para ajustar o homem a Revolução 4.0**. Research, Society and Development, v. 9, n. 4, p. e125942949-e125942949, 2020.
- Facco, A. L. R., Garrido, I. & Sartori, P. P. (2022). **Relações Interorganizacionais e Inovação: estudo de caso na indústria de serviços financeiros**. Revista de Administração Mackenzie (RAM), 23(2), 1-28.
- ESPINDULA, Lucas Gomes. **Manutenção preditiva e a indústria 4.0 um estudo de caso da implementação de um sistema de monitoramento on-line de ativos**. 2021.
- RAUTA, Jamir. **Ciência, Evolução e Movimento da Inovação Organizacional: uma estrutura conceitual para diagnóstico**. Revista de administração, sociedade e inovação, v. 6, n. 2, p. 25-51, 2020.
- SACRAMENTO, Jeovane Aragão do *et al.* **Prospecção tecnológica aplicada à gestão da manutenção de equipamentos industriais**. 2020.
- SANTOS, Elton Ferreira dos *et al.* **Planejamento estratégico no segmento de manutenção industrial aplicado em uma fábrica de rações para aves**. 2021.
- SARTORI, Priscila P.; FACCO, Ana LR; GARRIDO, Ivan L. **Relações interorganizacionais e inovação: Estudo de caso na indústria de serviços financeiros**. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 23, 2022.
- ZYRIANOFF, Wladimir *et al.* **Práticas de Gestão do Conhecimento e Capacidade Absortiva Aplicadas à Melhoria de Desempenho e Qualidade na Manutenção Industrial**. Research, Society and Development, v. 10, n. 2, p. e47410212713-e47410212713, 2021.

Logística em canteiro de obra: um estudo de caso na distribuição de telas de aço

Aline Maria Ventura

Graduanda de Engenharia de Transportes. Universidade Federal de Mato Grosso

Marlon Barros Correa

Graduanda de Engenharia de Transportes. Universidade Federal de Mato Grosso

Jean Bernard Soares da Silva

Graduanda de Engenharia de Transportes. Universidade Federal de Mato Grosso

Thaís Boaventura Dourado

Graduanda de Engenharia de Transportes. Universidade Federal de Mato Grosso

RESUMO

A otimização é uma estratégia fundamental em um canteiro de obras, pois permite investir em organização, planejamento e localização de materiais, equipamentos e funcionários. O objetivo é realizar todas as tarefas de forma eficiente, utilizando os recursos disponíveis de maneira racional, como mão de obra, recursos físicos e financeiros, sempre buscando a melhor opção de localização. É importante levar em consideração a rotina específica de cada canteiro de obras para aplicar a pesquisa operacional na análise e minimizar os trajetos, para tal escolhemos como estudo de caso um canteiro da obra na cidade de Cuiabá-MT e será analisado o transporte de telas dentro do canteiro. Abordaremos a importância dessa análise e como a pesquisa operacional pode contribuir para otimizar essa atividade no canteiro de obras.

Palavras-chave: logística; otimização; canteiro de obras.

ABSTRACT

Optimization is a fundamental strategy on a construction site, as it allows you to invest in organization, planning and location of materials, equipment and employees. The objective is to carry out all tasks efficiently, using available resources rationally, such as labor, physical and financial resources, always looking for the best location option. It is important to take into account the specific routine of each construction site to apply operational research in the analysis and minimize travel. To this end, we chose a construction site in the city of CuiabáMT as a case study and the transportation of screens within of the construction site. We will address the importance of this analysis and how operational research can contribute to optimizing this activity on the construction site.

Keywords: logistics; optimization; construction site.



INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel de extrema relevância na economia brasileira, sendo o setor industrial mais significativo nesse contexto. Nos últimos anos, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a construção civil tem consistentemente contribuído com uma média de aproximadamente 6,9% para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Essa contribuição expressiva destaca sua importância fundamental na composição da atividade econômica nacional.

O planejamento de um canteiro de obras, na construção civil, pode ser descrito como a organização estratégica das instalações temporárias, medidas de segurança e sistema de gestão do fluxo e estocagem de materiais. A fase de planejamento do layout engloba a concepção da disposição física dos trabalhadores, materiais, equipamentos, áreas de trabalho e de armazenamento (Frankenfeld, 1990).

Por outro lado, o planejamento logístico define as bases de infraestrutura necessárias para o progresso do processo produtivo. Isso inclui a determinação das condições ideais de armazenamento e transporte para cada tipo de material, a especificação das características das instalações temporárias, a seleção do mobiliário de escritório e a implementação das medidas de segurança, como no caso de uma serra circular (Saurin *et al.*, 2006).

A pesquisa operacional é uma ferramenta muito utilizada para determinar o melhor modelo de entrega dos produtos e com tempo otimizado em uma construção. Isto com as distâncias, pois no encontro das melhores rotas conseqüentemente obterá menor gasto de tempo e custo (Arenales *et al.*, 2011).

Neste segmento, foi realizado um estudo de caso em uma obra de porte médio, com o objetivo de aplicar a metodologia quantitativa, caixeiro viajante, a fim de otimizar tempo na entrega do material de aço. Foi visto que o tempo gasto nesta operação era acima do planejado e que com a redução desse tempo o canteiro de obras poderá apresentar melhor desempenho em outras atividades no local da edificação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Logística no canteiro de obra e planejamento de layout são o cerne de uma obra eficiente, como dito por Varalla (2003) o planejamento é “um processo de previsão de decisões, que envolve o estabelecimento de metas e a definição de recursos para atingi-las”. Colaborando com isso Mattos (2010) afirma que a gestão e o controle dos processos são imprescindíveis para gerar satisfação e conformidade junto aos prazos, custos e lucros dos empreendimentos.

O planejamento é uma ferramenta importante para racionalizar gastos operacionais, agilizar as tomadas de decisões, criar soluções mais eficazes contra situações desfavoráveis, permite ter um orçamento mais conciso e padronizar os processos construtivos.

Para um planejamento eficiente, é necessário que o profissional tenha conhecimento detalhado das etapas do projeto e análise dos métodos de execução e serviços (Lisboa e Castro, 2018) e é neste ponto que entram as ferramentas de pesquisa operacional,

permitindo uma análise mais profunda dos dados.

Como ensinado por Arenales (2007) a pesquisa operacional é uma área da matemática aplicada que utiliza técnicas matemáticas e estatísticas para resolver problemas complexos, como o clássico problema do caixeiro viajante, que consiste em encontrar a rota mais curta para visitar um conjunto de locais e retornar ao ponto de partida.

A aplicação da pesquisa operacional em canteiros de obras pode ajudar a melhorar os resultados, pois permite a otimização do planejamento e execução das atividades, reduzindo custos e prazos. O problema do caixeiro viajante (PCV) pode ser aplicado em canteiros de obras para otimizar o trajeto dos trabalhadores e materiais, reduzindo o tempo gasto com deslocamentos e aumentando a produtividade.

De acordo com Cunha *et al.* (2002) o PCV pode ser definido como o problema de encontrar a rota de menor distância ou com menor custo que passa por um conjunto de locais, sendo cada local visitado exatamente uma vez. Ainda de acordo com o autor supracitado, as soluções do PCV podem ser divididas em exatas e heurísticas, sendo que a segunda pode ser classificada em métodos de construção de roteiros e métodos de melhorias de roteiros.

Segundo Laporte *et al.* (1999) o método de construção de roteiro consiste em partir da origem para o destino mais próximo e em seguida ir para o próximo destino com a menor distância. Já o método de melhoria de roteiros, encontra rota com menor distância percorrida, a partir de uma rota estabelecida, ou seja, otimiza a rota.

METODOLOGIA

O método empregado consistiu em aplicar o problema do caixeiro viajante por meio de programação linear em um canteiro de obras na cidade de Cuiabá - MT. Primeiramente se fez necessário coletar a distância e localização dos pontos de entrega do material, para que fosse possível estabelecer a melhor rota. Na figura 1, estão distribuídas as distâncias entre as torres 1 até 6 e o almoxarifado, de onde se origina os materiais.

Figura 1 - Distância em metros, entre os pontos de entrega e o almoxarifado.

	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5	Torre 6
Almoxarifado	393,02	372,67	393,02	372,67	367,92	295,71
Torre 1	-	56,97	50,41	87,55	87,55	156,13
Torre 2	56,97	-	87,32	50,41	50,41	134,20
Torre 3	50,41	87,32	-	83,71	83,71	162,22
Torre 4	87,55	50,41	83,71	-	17,00	136,18
Torre 5	87,55	50,41	83,71	17,00	-	129,70
Torre 6	156,13	134,20	162,22	136,18	129,70	-

Com os dados em mãos pudemos estabelecer a função objetivo a ser minimizada, conforme mostra a figura 2, na qual i é a origem e j o destino.

Figura 2 - função objetivo, onde c é a distância e x uma variável.

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$$

Para continuar, se fez necessário determinar as restrições a qual o sistema está sujeito, sendo restrito na quantidade de sub-rotas existentes, dessa forma nas conexões entre dois pontos poderia haver apenas uma sub-rotas, com 3 pontos haveria 2 sub-rotas, assim por diante até chegar à conexão dos 6 pontos com 5 sub-rotas no máximo. Em outras palavras, não pode haver duas rotas de entrega no mesmo ponto.

Com as distancias e restrições definidas, foi possível estabelecer o método de cálculo a ser abordado, programação linear. Para tal, elaboramos o problema no software Excel e utilizando a ferramenta solver, pudemos otimizar a rota de entrega, ou seja, obter as menores distancias e, portanto, obter economia. Na figura 3 apresenta-se a configuração adotada no solver.

Figura 3 - Parâmetros do solver.

ESTUDO DE CASO

O estudo foi aplicado para um canteiro de obras na cidade de Cuiabá - MT, em que será construído um empreendimento com 6 torres, sendo 472 apartamentos ao todo. O terreno onde se localiza o canteiro possui uma área de mais de 20 mil m² que é utilizado para alocar as instalações provisórias, como área de vivência, almoxarifado, alguns maquinários e baias de materiais, como as telas do objeto de estudo. Para que ocorra a atividade estrutural é necessária uma movimentação diária tanto na horizontal como na vertical das telas usadas no concreto armado.

RESULTADOS

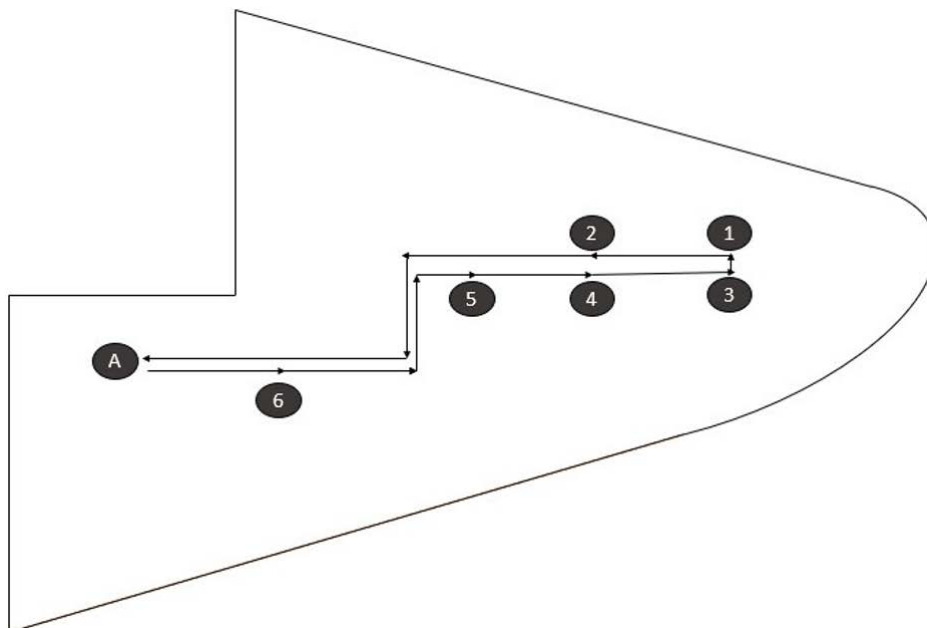
Neste trabalho acadêmico, abordamos o problema da distribuição eficiente de materiais de construção para seis torres em construção, considerando o conceito do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) como base para a otimização da rota. O objetivo principal foi determinar a ordem de distribuição mais econômica e eficaz a partir do almoxarifado, que serve como ponto de origem da viagem, a fim de minimizar custos operacionais e otimizar a eficiência da entrega de materiais.

Após uma análise detalhada e extensiva, bem como a aplicação de métodos de pesquisa operacional e uso de ferramentas como planilhas eletrônicas, chegamos à seguinte sequência de distribuição de materiais:

- Partida do Almoxarifado
- Distribuição para a Torre 6
- Distribuição para a Torre 5
- Distribuição para a Torre 4
- Distribuição para a Torre 2
- Distribuição para a Torre 1
- Distribuição para a Torre 3
- Retorno ao Almoxarifado

A rota pode ser visualizada na figura 4, na qual mostra uma representação do canteiro de obras.

Figura 4 - Roteirização, onde A é o almoxarifado e torres numeradas de 1 a 6. Essa ordem de distribuição foi determinada com base em uma análise das distâncias entre as torres e considerações logísticas, objetivando a minimização do tempo e recursos envolvidos no processo.



Os resultados alcançados reforçam a importância da aplicação de técnicas de

pesquisa operacional, como o Problema do Caixeiro Viajante, na otimização de rotas de distribuição em cenários complexos, como o da construção civil. Este estudo contribui para a eficiência operacional e econômica das atividades de construção, oferecendo uma abordagem sólida para a resolução de problemas semelhantes em outras situações práticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, a obra em questão poderá realizar o menor trajeto proporcionando menos tempo de deslocamento e conseqüentemente economia de custo com transporte.

Através desse estudo podemos reforçar a importância da aplicação de técnicas de pesquisa operacional, como o Problema do Caixeiro Viajante, na otimização de rotas de distribuição em cenários complexos, como o da construção civil. Este estudo contribui para a eficiência operacional e econômica das atividades de construção, oferecendo uma abordagem sólida para a resolução de problemas semelhantes em outras situações práticas.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- FRANKENFELD, N. **Produtividade**. Rio de Janeiro: CNI, 1990. (Manuais CNI). SAURIN, T. A., FORMOSO C. T. **Planejamento de canteiros de obras e gestão de processos**. Recomendações técnicas HABITARE, volume 3. Porto Alegre, 2006.
- VARALLA, R. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.
- MATTOS, ALDO. **Planejamento e controle de obras**. 1ª Edição. São Paulo, Editora Pini, 2010.
- LISBOA, ROGERIO; CASTRO, WEVERTON. **Planejamento Operacional nos Canteiros de Obra**: Estudo de Caso no Município de Goiânia, IFG, 2018.
- CUNHA, CLAUDIO; BONASSER, ULISSER; ABRAHÃO, FERNANDO.
- Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante**. USP. Natal: ANPET, outubro de 2002.
- LAPORTE, G.; M. GENDREAU; J.Y. POTVIN E F. SEMET. **Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem**. International Transactions in Operational Research, v.7, n4/5, p.285-300. Outubro de 1999.

Levantamento do índice de condição da manutenção da BR-319/RO

Daniel Gomes de Farias
Luis Bruno Teixeira Cruz
Moacir Moises dos Santos
Alex Gomes Pereira

RESUMO

O Índice da Condição de Manutenção (ICM) é um levantamento de campo que mede a qualidade funcional de uma superfície rodoviária, ou seja, o nível de conforto que ela pode proporcionar aos usuários e avalia a drenagem e a vegetação circundante. Como o transporte rodoviário é o mais utilizado no território brasileiro, é importante garantir boas condições de transporte, avaliando regularmente os pavimentos para evitar defeitos de qualidade estrutural e funcional. Partindo deste contexto, o presente estudo objetiva avaliar a atual condição do trecho urbano da rodovia BR-319/Rondônia (RO). O segmento em questão possui uma extensão de 8,20 km (km 56,70 ao km 64,90), tendo início no viaduto do Roque, na BR-364/RO, se estendendo por 8,20 km em pista dupla, até chegar à ponte sobre o Rio Madeira, na região portuária da cidade. Os resultados apontaram que o trecho estudado apresentou de modo geral classificação bom ou regular, ou seja, o segmento apresenta boas condições indicando assim que as práticas de manutenção do DNIT estão surtindo efeito, mantendo o pavimento em boas condições de trafegabilidade.

Palavras-chave: ICM; rodovias; modal rodoviário.

ABSTRACT

The Maintenance Condition Index (ICM) is a field survey that measures the functional quality of a road surface, that is, the level of comfort it can provide to users and evaluates the drainage and surrounding vegetation. As road transport is the most used in Brazilian territory, it is important to guarantee good transport conditions, regularly evaluating pavements to avoid defects in structural and functional quality. Based on this context, this study aims to evaluate the current condition of the urban section of the BR-319/Rondônia (RO) highway. The segment in question has a length of 8.20 km (km 56.70 to km 64.90), starting at the Roque viaduct, on BR-364/RO, extending for 8.20 km on a double lane, until reach the bridge over the Madeira River, in the port region of the city. The results showed that the section studied generally presented a good or regular classification, that is, the segment presents good conditions, thus indicating that the DNIT maintenance practices are having an effect, keeping the pavement in good traffic conditions.

Keywords: ICM; highways; road mode.



INTRODUÇÃO

O ICM possui o objetivo de caracterização da superfície do pavimento, sendo o principal estudo que influencia na segurança do usuário e na conservação qualitativa da rodovia, abrangendo as condições do sistema de drenagem, sinalização e roçada. Além disso, o ICM serve de parâmetro para acompanhar ações preventivas e corretivas realizadas na malha rodoviária, atuando como balizador para as manutenções devidas, permitindo a identificação das deficiências de cada rodovia.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), o transporte rodoviário se caracteriza como o principal meio de transporte do país, concentrando, aproximadamente, 61% da movimentação de mercadorias e 95% da movimentação de passageiros. Entretanto, 52,2% (56.970 quilômetros) da extensão das vias pavimentadas apresenta algum tipo de problema.

Ainda segundo o estudo do CNT (2021), os fatores que têm contribuído para o processo de degradação precoce do pavimento é o não atendimento às imposições técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento quanto à qualidade dos materiais empregados no revestimento, o aumento do fluxo de veículos, aspectos ambientais, frequência e práticas de manutenção periódica. Como resultado tem-se o aparecimento de diferentes anomalias por consequência, tem-se elevados custos de manutenção com a reparação desses pavimentos para atingir condições ideais de tráfego.

Regionalmente, o boletim do CNT (2019) apresenta uma pesquisa mais completa em que avalia os aspectos do pavimento geral, da sinalização e da geometria das vias, o que permite a classificação dos trechos como ótimo, bom, regular, ruim e péssimo. Em resumo, o pavimento rodoviário do estado de Rondônia (RO) se apresenta em 89,4% (1.697 km) com problema e apenas 10,6% (116 km) da extensão encontra-se com classificação denominada como sendo boa (CNT, 2019). Sendo assim, verifica-se a necessidade de uma gestão eficiente da matriz de transportes rodoviário, procurando melhorar as condições de trafegabilidade das vias, (Bernucci *et al.*, 2008).

Conforme Bernucci *et al.* (2008), no Brasil, existem algumas metodologias para analisar as condições da infraestrutura rodoviária, dentre eles, destaca-se a avaliação funcional (ICM), sendo esta responsável por quantificar a utilidade da rodovia, sendo a avaliação funcional objeto deste presente estudo. Essas avaliações são critérios de escolha para o momento de intervenção corretiva ou reforço da estrutura (Bernucci *et al.*, 2008).

Nesse contexto, o ICM possui o propósito de avaliação da superfície do pavimento, sendo o principal estudo que influi na segurança e conforto do usuário, bem como na conservação qualitativa da infraestrutura rodoviária, abrangendo as condições dos dispositivos de drenagem, sinalização vertical e horizontal e roçada. Vale ressaltar que a metodologia do ICM serve de referência para acompanhar ações preventivas e corretivas realizadas na malha rodoviária, atuando como balizador para as manutenções devidas, permitindo a identificação das deficiências das rodovias pavimentadas e não pavimentadas (DNIT, 2017).

Deste modo, o presente trabalho objetiva apresentar as informações acerca do levantamento do ICM da rodovia BR-319/Rondônia (RO).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ICM

O ICM foi elaborado para parametrizar a avaliação das rodovias pavimentadas brasileiras, trazendo parâmetros de aferição e acompanhamento das ações de manutenção. Resulta da ponderação do Índice da Condição do Pavimento (ICP) e do Índice da Condição da Conservação (ICC).

Os levantamentos são realizados seguindo as diretrizes da Instrução de Serviço (IS)/Colegiada nº 16, de 31 de julho de 2019. O levantamento ocorre de forma presencial, km a km. A bordo do veículo seguem o motorista e o avaliador. Após percorrida a extensão de 1000 metros com velocidade máxima de 60km/h, no marco quilométrico, o avaliador realiza o lançamento dos dados obtidos em software específico. Para os segmentos de pista simples e duplas, a avaliação se deu somente em um sentido, considerando ambas as faixas.

ICP

O ICP é obtido a partir da avaliação da quantidade de painéis e remendos, bem como a porcentagem de trincamentos, em intervalos de 1 em 1 quilômetro do trecho.

A princípio, é aferida a intensidade dos defeitos e a frequência com que eles aparecem na pista (Tabela 1), conforme os parâmetros da IS nº 16.

Tabela 1 - Frequência de ocorrência para elementos de pista de rolamento.

Patologia	Baixo	Médio	Alto	Unidade
Panela	Panela < 2	2 < Panela < 5	Panela > 5	Quantidade / km
Remendo	Remendo < 2	2 < Remendo < 5	Remendo > 5	Quantidade / km
Trincamento	Trincamento < 10%	10% < Trincamento < 50%	Trincamento > 50%	% da área

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A IS estabelece uma pontuação correspondente ao grau de severidade, em que varia de 0,25 a 1,00, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores a serem utilizados de acordo com a frequência de ocorrência relacionadas ao IP.

Defeitos	Baixo	Médio	Alto
Panelas	0,25	0,50	1,00
Remendos	0,25	0,50	1,00
Trincamento	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Posteriormente, essas pontuações são aplicadas na Equação 1, para determinação do IP por km.

$$IP = P_{\text{panelas}} \times 50 + P_{\text{remendos}} \times 30 + P_{\text{trincamento}} \times 20 \quad [1]$$

O IP varia até 100, onde:

IP próximos a 0, indicam um pavimento em boas condições; e

IP próximos a 100, indicam um pavimento em más condições.

Critérios para Avaliação do IC

O IC é obtido a partir da avaliação do estado da drenagem, da sinalização horizontal e vertical, bem como da altura da vegetação, em intervalos de 1 em 1 quilômetro do trecho.

A princípio, é aferida a intensidade do estado de conservação ao longo do segmento (Tabela 3), conforme os parâmetros da IS nº 16.

Tabela 3 - Nível de conservação.

Serviço	Bom	Regular	Ruim
Roçada	Vegetação rasteira com altura máxima de 30cm	Vegetação acima de 30cm, mas que não afeta a visibilidade da sinalização vertical	Vegetação alta que afeta a visibilidade da sinalização vertical
Drenagem	Dispositivos superficiais íntegros e caídos	Dispositivos superficiais com quebras localizadas e sem caiação	Dispositivos quebrados ou ausentes
Sinalização	Elementos verticais e horizontais visíveis e em boas condições	Elementos verticais e horizontais parcialmente faltantes e desgastados	Elementos verticais e horizontais faltantes e desgastados

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A seguir, a IS estabelece uma pontuação correspondente para cada intensidade de defeitos, variando de 0,25 a 1,00, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores a serem utilizados de acordo com o nível de conservação indicado.

Conservação	Bom	Regular	Ruim
Roçada	0,25	0,50	1,00
Drenagem	0,25	0,50	1,00
Sinalização	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Em seguida, essas pontuações são aplicadas na Equação 2, de onde se obtém o IC do km.

$$IC = P_{Roçada} \times 30 + P_{Drenagem} \times 20 + P_{Sinalização} \times 50 \quad [2]$$

Desta forma, o IC varia até 100, onde:

IC próximos a 0, indicam um bom estado de conservação; e

IC próximos a 100, indicam um mau estado de conservação.

Definição do ICM

O ICM é calculado pela Equação 3, sendo que o IP representa 70% do valor final do ICM, bem como o IC representa os 30% restantes.

$$ICM = IP \times 0,70 + IC \times 0,30 \quad [3]$$

Onde:

ICM: Índice da Condição da Manutenção;

IP: Índice do Pavimento; e

IC: Índice da Conservação.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores definidos para cada grau de severidade.

Tabela 5 - Valores a serem utilizados de acordo com a frequência de ocorrência relacionadas ao IP.

Defeitos	Baixo	Médio	Alto
Panelas	0,25	0,50	1,00
Remendos	0,25	0,50	1,00
Trincamento	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).





Tabela 6 - Valores a serem utilizados de acordo com o nível de conservação indicado.

Conservação	Bom	Regular	Ruim
Roçada	0,25	0,50	1,00
Drenagem	0,25	0,50	1,00
Sinalização	0,25	0,50	1,00

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

A definição do estado da condição da manutenção dependerá exclusivamente do resultado encontrado após a aplicação da Equação do ICM, onde o segmento será classificado conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - ICM

Cor	Faixa	Condição	Nível de Conservação
	ICM < 30	Bom	Conserva Rotineira
	30 < ICM < 50	Regular	Conserva Leve
	50 < ICM < 70	Ruim	Conserva Pesada Nível 1
	ICM > 70	Péssimo	Conserva Pesada Nível 2

Fonte: IS 16 (DNIT, 2019).

Frequência e Informações Adicionais

A periodicidade deste levantamento é mensal. Após concluído o percurso de toda a malha, os dados são sincronizados por meio do software específico do DNIT, passando a integrar o sítio eletrônico: <http://servicos.dnit.gov.br/dnitgestao/icm/Home/Index> e estando disponíveis para consultas.

METODOLOGIA

Rodovia BR-319

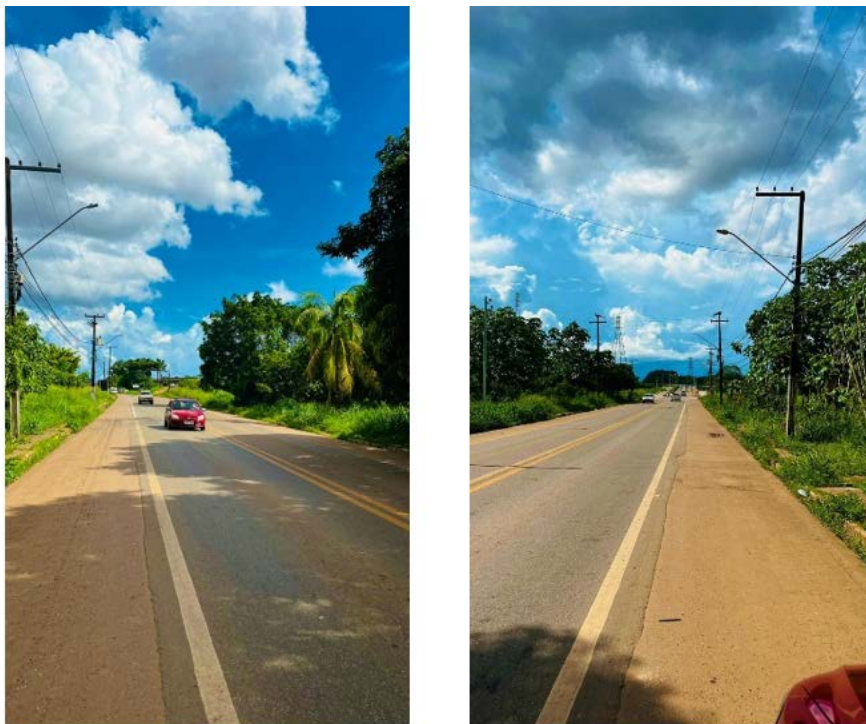
A rodovia BR-319, também conhecida como Rodovia Manaus/Porto Velho, é uma

rodovia federal que liga Manaus, no Amazonas (AM), a Porto Velho, capital do estado de RO. A rodovia BR-319 se caracteriza por ser a única rodovia que liga os estados do AM e de Roraima com RO, e, conseqüentemente, com o restante do Brasil.

Levantamento

O levantamento ocorreu no trecho urbano de Porto Velho, segmento pavimentado do km 56,70 ao km 64,90, tendo início no viaduto do Roque, na BR-364/RO, se estendendo por 8,20 km em pista dupla, até chegar à ponte sobre o Rio Madeira, na região portuária da cidade, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Rodovia BR-319/RO.



Fonte: Autores (2024).

O levantamento foi realizado conforme a IS nº 16 do DNIT, utilizando um veículo com 2 integrantes (motorista e avaliador), mantendo uma velocidade média de 40km/h e com boas condições de temperatura e visibilidade da rodovia. A metodologia empregada permitiu analisar e avaliar a condição do pavimento levando em consideração as recomendações adotadas pela IS.

Após a coleta das informações e quantitativos das anomalias no segmento da rodovia em estudo, foram feitos os tratamentos dos dados por meio das equações apresentadas no item 2.1.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se na Figura 2 os dados da rodovia BR-319/RO do trecho avaliado por possibilitando a apreciação da rodovia na malha rodoviária federal no estado de RO de forma individualizada.

Figura 2 - ICM da BR-319/RO.

Distrito: Porto Velho - RO		LEGENDA		
Rodovia: BR-319/RO		BOM	ICM < 30	
Período: Março/2024		REGULAR	30 ≤ ICM < 50	
		RUIIM	50 ≤ ICM < 70	
		PÉSSIMO	ICM ≥ 70	
Rodovia	km inicial	km final	ICM	CLASSIFICAÇÃO
BR-319	56,700	57,000	6,000	BOM
BR-319	57,000	58,000	11,250	BOM
BR-319	58,000	59,000	35,750	REGULAR
BR-319	59,000	60,000	34,000	REGULAR
BR-319	60,000	61,000	34,000	REGULAR
BR-319	61,000	62,000	18,500	BOM
BR-319	62,000	63,000	31,250	REGULAR
BR-319	63,000	64,000	50,500	RUIIM
BR-319	64,000	64,900	38,000	REGULAR
BR-319	64,900	63,000	14,750	BOM
BR-319	63,000	62,000	28,500	BOM
BR-319	62,000	61,000	37,500	REGULAR
BR-319	61,000	60,000	22,500	BOM
BR-319	60,000	59,000	17,250	BOM
BR-319	59,000	58,000	38,250	REGULAR
BR-319	58,000	57,000	28,750	BOM
BR-319	57,000	56,700	6,000	BOM

Fonte: Autores (2024).

A partir dos dados mostrados na Figura 1, verifica-se que a BR-319 foi em geral classificada com regular ou bom. Essa avaliação indica que a condição geral de manutenção desses trechos específicos da rodovia está dentro de padrões considerados adequados.

O fato de os trechos apresentarem classificação do ICM como bom ou regular indica que as práticas de manutenção estão surtindo efeito, mantendo o pavimento em boas condições de trafegabilidade. A presença limitada de panelas, remendos e uma porcentagem mínima de área trincada apontam para um esforço consistente na conservação do segmento. Além disso, a altura adequada da vegetação marginal, a condição dos dispositivos de drenagem e a presença de uma sinalização eficiente contribuem para uma experiência segura e eficiente para os usuários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou apresentar um levantamento da atual condição de manutenção do trecho urbano da rodovia BR-319 na cidade de Porto Velho/RO. A partir do estudo realizado, pode-se concluir que a uniformidade dos resultados sugere uma abordagem consistente na gestão da manutenção do trecho urbano da rodovia BR-319. A aplicação eficaz de estratégias preventivas e corretivas parece estar sendo bem executada, contribuindo para a preservação da infraestrutura rodoviária e evitando problemas significativos.

A convergência para a classificação bom ou regular também pode indicar uma alocação eficiente de recursos e esforços de manutenção. Isso é um ponto positivo, indicando que as estratégias implementadas são eficazes e fornecem uma base sólida para decisões futuras.

Vale ressaltar que, apesar dos resultados positivos, a manutenção de rodovias é um desafio contínuo e dinâmico. A vigilância constante e avaliações regulares são essenciais

para garantir a manutenção do padrão bom ou regular e identificar rapidamente qualquer sinal de desgaste ou degradação.

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1 ed. Rio de Janeiro, PETROBRAS/ABEDA, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: relatório gerencial**. Brasília: CNT, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. CNT: SEST SENAT, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT Nº 16/2019: Instrução de Serviço. Colegiada - metodologia para utilização de ICM**. Rio de Janeiro, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DINT: Termo de Referência**. Processo nº. 50600.030684/2017-30, 2017.

Torre de Pisa: um estudo de caso

Iuriane Silva Prado

Centro Universitário São Lucas

Bruno Tello Ramírez

Centro Universitário São Lucas

Graziele Nascimento Salles

Centro Universitário São Lucas

Ítalo Mourão Lopes

Centro Universitário São Lucas

Alex Gomes Pereira

Centro Universitário São Lucas

RESUMO

Quando se trata da fundação de uma edificação são inúmeros os riscos que podem ser impedidos quando se realiza uma avaliação e elaboração de estudos minuciosos e também quando se tem conhecimento técnico de pesquisas que podem evitar que erros e gastos excessivos possam aparecer durante e ao término de um empreendimento. A fundação possui a ligação solo-estrutura, em que tudo está interligado, ou seja, possíveis erros cometidos podem acarretar em problemas difíceis de serem solucionados uma vez que ficam localizados abaixo do solo. O intuito deste trabalho é detalhar o recalque da Torre de Pisa. Com isso, este trabalho tem o objetivo de trazer um estudo minucioso sobre o fenômeno de assentamento da Torre de Pisa.

Palavras-chave: fundações; recalque diferencial; Torre de Pisa.

INTRODUÇÃO

Berberian (1943) descreve que os recalques podem ser analisados levando em consideração dois elementos: o solo e a estrutura. Quando analisados a partir do solo, os principais recalques existentes são: imediatos, por adensamento (ou primário), por colapso, secundário (creep), por subsistência. Considerando os tipos de recalques de solo, o do tipo imediato é causado pela ação da saída de gases, compressão de sujeira (empolamento do solo na ponta das fundações) e a própria deformação elástica do solo. O do tipo primário decorre da saída gradual da água pelos poros do solo, podendo atingir níveis – em valores – muito elevados. Já o colapso é o conjunto de problemas (perda de sucção, quebras das cimentações entre partículas ou ambos) e, dentre os tipos de recalque, é o mais prejudicial. O recalque secundário é proveniente da



deformação gradual causada pela deformação particular do solo. Por último, os recalques de subsistência são originados por acomodações de minas, falhas e cavernas subterrâneas.

Os recalques envolvendo as estruturas são classificados em três tipos: total, diferencial e distorcional. Os do tipo total (ou absoluto) consideram a soma de todos os recalques em um ponto da edificação quando medido. O diferencial, como a própria denominação explícita, é a diferença dos recalques totais entre dois pontos analisados. E, o terceiro tipo, o distorcional (também conhecido como diferencial específico) é correspondente a razão do recalque diferencial pelo vão existente entre dois pontos. Este é o melhor indicador de patologias por ponderar a rigidez estrutural.

A proposta deste trabalho é analisar o recalque a partir da ótica da estrutura, com foco no recalque diferencial e em como este pode afetar uma fundação e, conseqüentemente, as demais estruturas (mesoestrutura e infraestrutura). Com interesse em apresentar e discutir, a partir de uma revisão bibliográfica, detalhes sobre as condições do local e as decisões tomadas no início da obra de edificação, dissertando as possíveis causas e soluções para o recalque da Torre de Pisa.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Investigação do subsolo

Antes de qualquer empreendimento, o primeiro passo para uma construção segura e sem problemas futuros é investir em uma investigação para que possam ser evitadas o surgimento de manifestações patológicas decorrentes das características do maciço e suas camadas influenciadas pelas estruturas da fundação, identificando eventuais solos problemáticos.

O estudo das características do subsolo sobre o qual o terreno será executado a edificação, em maior parte dos casos, se resume em sondagem de simples reconhecimento (sondagem a percussão), mas em outros tipos de pesquisa serão executados dependendo do porte da obra ou se as informações obtidas não forem satisfatórias, por exemplo, poços exploratórios, ensaio de penetração contínua, ensaio de palheta (Melhado *et al.*, 2002).

Uma fundação antes de tudo seja segura, e para que esse nível de segurança aceitável seja alcançado, o projeto deve seguir as normas técnicas vigentes. Uma fundação deve ser funcional e um elemento de fundação deve ser durável, ou seja, ele tem de desempenhar comportamento favorável ao longo de toda sua vida útil. Na fase de projeto alguns requisitos de segurança normalmente devem ser atendidos, como tensão admissível que visa proteger uma fundação de uma ruptura e recalque admissível que significa uma tensão aplicada compatível com os recalques que a superestrutura possa suportar.

A sondagem do solo é um procedimento que carrega como função analisar as características naturais do solo, objetivando reconhecer seu tipo, características físicas e, principalmente, sua resistência e o lençol freático (Rebello, 2008).

De acordo com Militisky *et al.* (2015), a ausência de investigação de subsolo é uma prática inaceitável, pelo fato de que esta vai contra a boa prática da engenharia e

normas técnicas. Com a ausência de investigação, pode gerar diversos problemas para o empreendedor ocasionando tensões de contato excessivas, fundações em solos heterogêneos, fundações apoiadas em solos compressíveis, ocorrência de atritos negativos. Além da ausência de uma investigação, uma investigação insuficiente pode acarretar número escasso de sondagens, profundidade de investigação insuficiente, propriedades de comportamento não determinadas e subsolo com grande variabilidade.

Os principais processos de investigação do subsolo para fins de projeto de fundação de estruturas são os de poços, sondagens a trado, sondagens com percussão a SPT, sondagens rotativas, sondagens mistas, ensaio de cone (CPT) e ensaio pressiométrico (PMT) (Velloso & Lopez, 2010).

Podemos abordar dois tipos de abordagens: abordagem direta e indireta. A medida direta, as medidas de sondagem a percussão (SPT - *Standard Penetration Test*), CPT, DMT, Vane são utilizados diretamente na previsão do comportamento das fundações, como previsão de capacidade de carga e estimativa de recalques. Já na abordagem indireta, essas propriedades medidas são utilizadas na estimativa de parâmetros de projetos, como ângulo de atrito, permeabilidade, resistência ao cisalhamento, módulo de compressibilidade.

A ABNT 6122/2010 especifica que é necessário a execução de uma investigação geotécnica preliminar para qualquer edificação, sendo constituída no mínimo de SPT e, em função dos resultados obtidos, pode ser necessário uma investigação complementar.

Fica entendido, então, que, independente do porte da obra, grande ou pequeno, a prática da avaliação do comportamento dessas fundações é similar. Desse modo, quando é feito um projeto geotécnico de fundação de uma edificação, é de suma importância o conhecimento da espessura do solo, resistência do solo, posição do nível d'água, o quanto cada elemento da fundação pode deformar, quanto tempo essas deformações podem demorar para se estabilizar (recalque instantâneo ou recalque ao longo do tempo), permeabilidade do solo e qual seria a capacidade de carga de uma estaca, deste modo, é imprescindível a investigação apropriada do solo para se obter todas as informações necessárias para elaboração de um empreendimento.

Recalque em fundações

Recalque é um deslocamento vertical de sua base em relação a um ponto indeslocável, ou seja, um ponto fixo. O recalque de fundações, esse desaprumo é previsto que ocorra em qualquer edificação, só que em pequenos valores. Sendo assim, Rebello (2008), complementa dizendo que se denomina recalque a deformação que ocorre no solo quando submetido a cargas, essa deformação provoca movimentação na fundação que, dependendo da intensidade, pode resultar em sérios danos à superestrutura.

Os recalques existentes são, recalque uniforme e o recalque diferencial, podendo ou não ocorrer distorção angular. O recalque uniforme acontece quando toda a fundação apresenta o mesmo grau de recalque sendo assim descendo como corpo rígido, mas mantendo a estabilidade horizontal e vertical. No entanto, o recalque diferencial tem como principal característica a diferença de nível, visto que esse fenômeno acontece quando uma parte da estrutura fica mais rebaixada que a outra, havendo ou não distorção angular.

Chamamos de distorção angular quando a estrutura afunda de forma desigual, já quando não há distorção angular, é chamado de corpo rígido, significando que quando a estrutura sofre rotação como se fosse um bloco único. Quando um dos elementos que compõem uma fundação se desloca e os outros não, temos o chamado recalque diferencial, no entanto ocorrendo em toda a fundação é chamado de recalque total, ambos podendo acontecer imediatamente após o carregamento e/ou com o decorrer do tempo.

Rebello (2008), explica que, as deformações que o solo pode sofrer são de três tipos, deformação elástica, deformação por escoamento lateral e deformação por adensamento.

A deformação elástica é aquela que qualquer material apresenta quando submetido a uma carga. O recalque elástico ocorre imediatamente após a aplicação da carga e são maiores em solos não coesivos, ou seja, em solos não argilosos.

Já a deformação por escoamento lateral acontece com maior predominância em solos não coesivos, assim como a deformação elástica. Trata-se da migração de solo de regiões mais solicitadas para as menos solicitadas, portanto, o deslocamento dá-se do centro para a lateral.

Para finalizar os tipos de exemplos, a deformação por adensamento é a mais importante e a mais problemática podendo causar os mais comuns casos de recalques nas fundações. Essa deformação ocorre pela diminuição no volume aparente do maciço de solo, causado pelo fechamento dos vazios deixados pela água intersticial expulsa pela pressão que as cargas exercem sobre a fundação. Esta deformação ainda é subdividida em primário, onde o recalque ocorre em tempo suficiente de poucos anos para expulsar a água, e secundário, onde os recalques permanecem por um longo período podendo atingir cem ou mais anos e ocorrem tipicamente em argilas saturadas.

Recalques admissíveis

Falconi *et al.* (2023) salientam que os danos causados por movimentos de fundações podem ser agrupados em três categorias principais:

a) Danos arquitetônicos: são aqueles visíveis ao observador comum, provocando algum tipo de manifestação patológica: trincas em paredes, recalques de pisos, desaprumo de edifícios, desaprumo de muros de arrimo e etc;

b) Danos ocasionados à funcionalidade ou ao uso da construção. O desaprumo de um edifício pode causar problemas de desgaste excessivo de elevadores, inverter declividades de pisos e tubulações. Recalques totais excessivos podem inverter declividade, ou mesmo romper tubulações, prejudicar o acesso e etc. Recalques diferenciais podem causar o emperramento de portas e janelas, causar trincas por onde pode passar umidade etc. Recalques de pisos industriais podem prejudicar a operação de máquinas, empilhadeiras, estocagem de materiais etc; e

Danos estruturais são aqueles ocasionados à estrutura, podendo comprometer sua estabilidade.

Métodos para estabilização de recalques

Sangria de areia sob sapatas

Este método que visa alcançar o reaprumo de um edifício recalçado é realizado com o carregamento do lado menos recalçado, a técnica da sangria de areia sob sapatas consiste em retirar a areia sob as sapatas de lado menos recalçado. É um procedimento econômico, porém na maioria dos casos sem resultados satisfatórios. Dias (2010) explica que é necessário que a remoção em cada elemento de área seja proporcional ao recalque que se pretende impor a fim de se induzir o movimento de um corpo rígido da estrutura.

Carregamento do lado menos recalçado

Este procedimento consiste na aplicação de uma carga no lado menos recalçado do edifício, fazendo assim com que o lado que não possui recalque acabe recalçando e igualando-se ao lado oposto. De acordo com Maffei *et al.* (2003), afirma que esse método é pouco eficiente e que o fato de a argila recalcar e da camada superior de areia acompanhar esse movimento, não implica que o prédio também o fará.

Injeções para expandir o solo

Por meio da utilização de tubos galvanizados de 2" a 3" de diâmetro é injetado uma camada de cimento no terreno abaixo das fundações, tubos estes cravados até a cota desejada e feita a injeção de cimento através do tubo de ponta aberta ou de paredes perfuradas (Caputo, 2012).

Reforço da fundação com emprego de estacas profundas

O objetivo principal deste método é a execução de estacas profundas que ultrapassem a camada de solo mole, interligadas por vigas ao edifício de modo que as cargas sejam transferidas à nova fundação.

Deformações controladas por meio da extração de solo mole

O método consiste em provocar deformações controladas no edifício e seu consequente nivelamento através da extração da argila do lado menos recalçado e injeção de argamassa através de um trado, conseguindo assim provocar deformações controladas e seu consequente nivelamento.

Falconi *et al.* (2003), mostram como pode ser feita a extração de solo mole sob as sapatas. Os autores ressaltam que esse procedimento exige um sistema de monitoramento contínuo dos recalques dos pilares, para acompanhar a eficiência do tratamento.

METODOLOGIA

Inicialmente foi feito um levantamento de informações extraídas de monografias, artigos, livros, teses, todo tipo de abordagem que estiver relacionado com ao referente

ao tema estudado, para posteriormente ser feito o estudo dos diferentes tipos de casos existentes de recalque diferencial, mostrando o que levou a este problema estrutural e quais são as possíveis soluções para casos mais simples aos mais complexos, citando também os tipos de recalques e quais os métodos para solucioná-los.

Após todo esse levantamento de informações e o desenvolvimento do plano teórico, foi feito o estudo de casos encontrados, buscando apresentar as causas que levaram ao recalque e qual solução plausível para cada caso, obtendo um resultado final que também será debatido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise de casos reais

Torre de Pisa

A Torre de Pisa, situada em Pisa (Itália), teve sua construção iniciada no ano de 1173 com conclusão no ano de 1370, sendo realizada em três etapas distintas: 1173-1188, 1272-1278 e 1360-1370. Caso bastante discutido, de referência mundial, de recalque, por ser a torre pendente mais antiga e conhecida do mundo.

A torre de Pisa possui fama mundial devido a sua inclinação, cuja época mais crítica chegou a 5,5 graus e um desaprumo horizontal de quase 4,50 metros. De acordo com Santos (2014), a Torre começou a inclinar durante o segundo estágio da construção em 1272 a partir da construção do quarto andar. Desde então, o desaprumo apresentado pela Torre continuou aumentando até atingir o ponto supracitado.

A construção dessa torre, cuja altura é de 8 andares, constituída com pedra calcário e argamassa de cal, exterior revestido a mármore. O uso de colunas e arcos, tipo de construção muito relevante na época com andar da base da torre possuindo uma arcada constituída por 15 arcos de mármore fechados, pensados para suportar a carga de 16.000 toneladas que não saiu como planejado.

Levantamento da inclinação da Torre de Pisa

De acordo com relatos de Burland (2003), durante a primeira fase da construção, que ocorreu entre 1173 até 1178, a torre se inclinou ligeiramente para o norte. Quando a construção começou em 1272, esta se inclinou novamente sentido sul, atingindo $0,6^\circ$. Nos anos 90, a inclinação aumentou para $1,6^\circ$ e assim sucessivamente inclinando descontroladamente atingindo até $5,5^\circ$ no começo dos anos 90.

A observação de que o lado norte vinha subindo constantemente levou diretamente à sugestão de que a aplicação de um contrapeso de chumbo para a alvenaria de fundação no lado norte poderia ser benéfica como estabilizadora temporária medida reduzindo o momento de capotamento (Burland *et al.*, 1993).

Em concordância com Burland (2003):

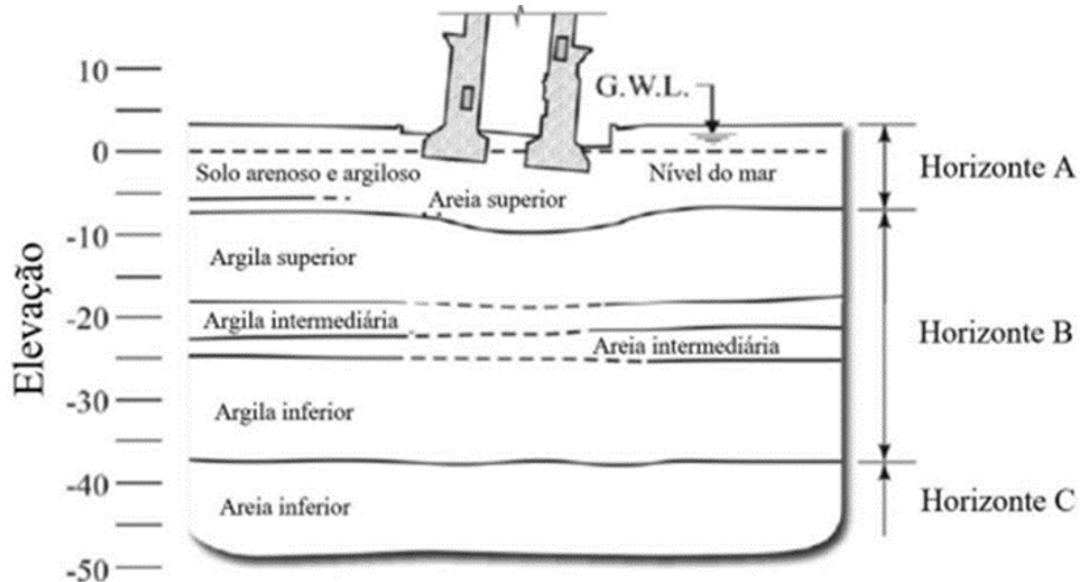
Em termos simples, a “instabilidade inclinada” de uma estrutura alta ocorre em uma altura crítica quando o momento de tombamento gerado por um pequeno aumento na inclinação é igual ou maior que o momento de resistência gerado pelas fundações. Não importa o cuidado com que a estrutura seja construída, uma vez que atinge o ponto crítico, a menor perturbação induzirá a instabilidade de inclinação.

De acordo com Burland (2003) a instabilidade inclinada não é ocasionada pela falta de resistência do solo, mas devido à rigidez insuficiente.

Estudo do tipo de solo

De acordo com Santos (2014), o solo sobre o qual a Torre está assentada apresenta camadas alternadas entre areia e argila (Figura 1). Além disso, Cintra *et al.* (2013) ressalta que o maciço onde a torre está apoiada possui comportamento heterogêneo, apresentando maior deformabilidade na região sul, situação essa que não foi percebida antes do início da construção.

Figura 1 - Camadas de solo abaixo da Torre de Pisa.



Fonte: Adaptado de Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009).

O tipo de fundação utilizado foi superficial, indicada para região em que o solo resistente está nas primeiras camadas de terra. Conforme Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009), a tensão média aplicada no solo era de 500 kPa distribuída de maneira uniforme. No entanto, Burland (2003), afirma que essa inclinação geralmente tem sido atribuída à fluência na argila marinha macia subjacente, supondo-se que o lado sul estava se estabelecendo (deformando) mais do que o norte lateral.

De acordo com Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009), Com a descrição de Burland e Potts (1994) constataram que a após a inclinação a tensão solo-estrutura no lado sul da torre era de aproximadamente 1000 kPa, enquanto que no lado norte era praticamente nula. Visto isso, um colapso estrutural era propício, já que a tensão aplicada era o dobro para a qual a fundação foi projetada.

Soluções corretivas adotadas

Segundo Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009), a estabilização temporária

da fundação foi alcançada durante o segundo semestre de 1993, pela aplicação de 600 toneladas de pesos de chumbo no setor norte das fundações, conforme ilustrado na Figura 2, por meio de um anel de concreto removível pós-tensionado lançado ao redor da base da Torre, visto que essa solução causou uma redução na inclinação da torre e reduziu o momento de capotamento em cerca de 10%.

Em setembro de 1995, o comitê responsável decidiu substituir os pesos de chumbo por tirantes conectados ao anel de concreto localizado abaixo dos pesos de chumbo, entretanto devido a falha dessa alternativa, foi necessário o aumento da carga dos chumbos para 900 toneladas para controlar a aceleração dos movimentos do sul da Torre.

Figura 2 - Contrapeso de chumbo na face norte da Torre de Pisa.

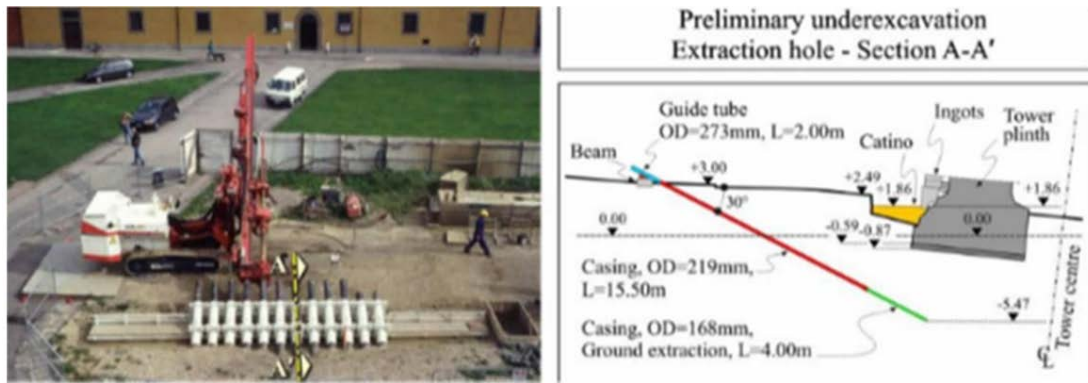


Fonte: Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009).

Previendo o desastre que poderia ocorrer após inúmeras tentativas, o comitê italiano procurou uma solução definitiva para o problema. Segundo Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009), Uma descoberta chave dos estudos acima foi que, desde que a extração do solo abaixo da fundação ocorra ao norte de uma linha crítica, a resposta da Torre é sempre positiva. Esta linha crítica está localizada a cerca de meio raio da borda norte da fundação (ou seja, longe do lado inclinado). O processo adotado para estabilizar a torre foi retirar parte do solo situado abaixo da fundação da parte norte através de escavação subterrânea, que de acordo com Santos (2014) consiste na em instalar tubos de extração de solo compostos por uma hélice contínua para que o solo possa ser coletado.

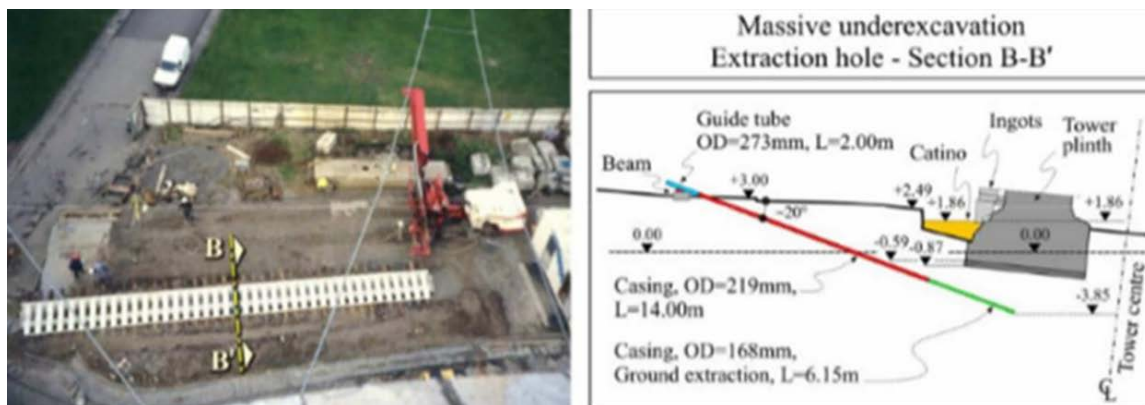
Após a tentativa definitiva de estabilizar a torre, o sucesso da subescavação preliminar convenceu o Comitê de que era seguro realizar a extração do solo em toda a largura da fundação. Segundo Santos (2014) ao final do ano de 1999 foram instalados 41 tubos para a extração do solo, conforme a Figura 3 e 4, espaçados entre si em 50 cm e a escavação teve início já em fevereiro do ano 2000.

Figura 3 - Furos para subscavação preliminar.



Fonte: Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009)

Figura 4 - Buracos para subscavação maciça.



Fonte: Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009)

Com o desfecho concluído, os pesos de chumbo foram sendo retirados gradativamente até fevereiro de 2001 no qual foram removidos por completo.

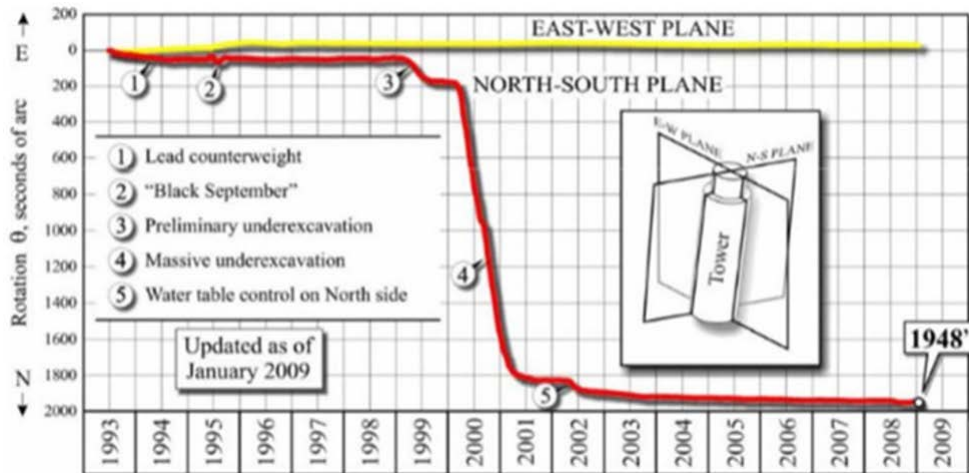
Como resultado do processo de estabilização a inclinação da Torre passou a ser de 0,5 graus.

Outro problema detectado e que pode ter sido o principal fator desse movimento contínuo, segundo Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009):

A flutuação sazonal do lençol freático no Horizonte A durante períodos de chuva intensa foi o principal fator responsável por este movimento contínuo. Também é importante que, além desses períodos intensos de chuva, o solo médio dos níveis de água próximos ao lado sul da Torre no Horizonte A são 200 mm a 300 mm mais altos do que aqueles ao norte, esta diferença gera um momento de estabilização pequeno, mas não desprezível para o monumento que fica tão perto de cair. No outono e inverno, quando os eventos de chuva são mais intensos, o lençol freático sobe acentuadamente, reduzindo a diferença no nível piezométrico e, assim, produz rotações para sul da Torre que não são totalmente recuperáveis.

Na Figura 5 é mostrada a rotação da fundação da torre após os procedimentos de estabilização.

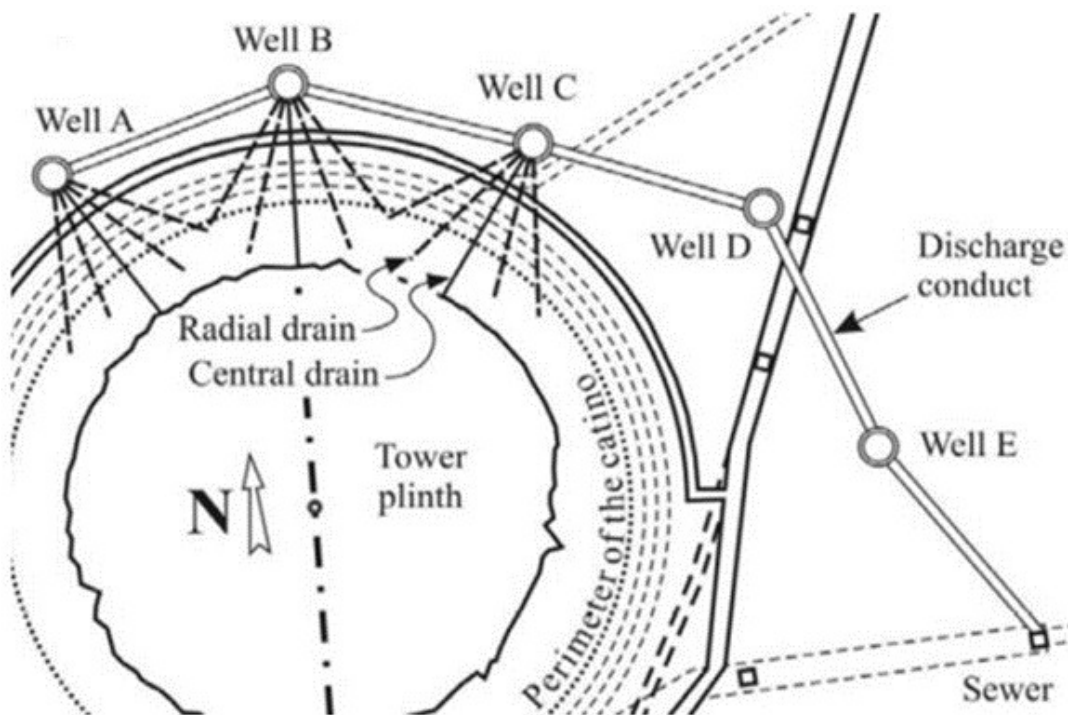
Figura 5 - Rotação da fundação da Torre.



Fonte: Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009)

Então, para minimizar este efeito foi necessário retirar as oscilações do lençol freático e, com este objetivo, uma drenagem foi instalada com um sistema composto por três poços afundados no lado norte com drenos radiais sub-horizontais desaguando neles por baixo do lado norte, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Sistema de drenagem utilizado na Torre de Pisa.



Fonte: Burland, Jamiolkowski e Viggiani (2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa abordou causas de recalque diferencial na Torre de Pisa com a finalidade do conhecimento aprofundado dos elementos que levaram a estrutura sofrer mudanças nas fundações, apresentando um caso real.

Com base nas informações pode-se observar que atualmente o fenômeno da instabilidade da fundação da Torre de Pisa se encontra controlado. Apesar disso, alguns estudiosos apontam que em a Torre poderia voltar a situação de instabilidade que existia no início do século XIX, podendo ocorrer em até cerca de 200 anos.

Deste modo, este estudo reforça que ao se deparar com casos de recalque diferencial é de extrema importância agir de forma rápida estabelecendo uma análise aprofundada, identificando a causa do problema e em seguida construindo o melhor artifício para o tipo de situação, sempre levando em conta a eficiência do resultado proposto satisfazendo não só os impactos técnicos, mas também os sociais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- BURLAND, J. B.; JAMIOLKOWSKI, M. B.; VIGGIANI, C. **The stabilisation of the Leaning Tower of Pisa**. Soils and Foundations, 2003.
- BURLAND, J. B.; JAMIOLKOWSKI, M. B.; VIGGIANI, C. **Leaning Tower os Pisa: behaviour after stabilization operations**. International Journal os Geoengineering, 01 julho, 2009.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C. DE H. C.; GIACHETI, H. L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- FALCONI, F.; AZEM, F.; Hachich, W. **Proposta de Renivelamento de Prédio em Santos**. In: Workshop Passado Presente e Futuro dos Edifícios da Orla Marítima de Santos. Santos, 2003.
- FALCONI, F.; CORRÊA, C. N.; ORLANDO, C.; SCHIMDT, C.; ANTUNES, W. R.; ALBUQUERQUE, P. J.; HACHICH, W.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. Fundações: teoria e prática. . São Paulo: Pini, 2023.
- MELHADO, S. B.; SOUZA, U. E. L.; BARROS, M. M. S. B.; FRANCO, L. S.; HINO, M.K.; GODÓI, E. H. P.; HOO, G. K.; SHIMIZU, J. Y. **Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Construção Civil**. São Paulo. 2002.
- MILITITSKY J.; CONSOLI N. C.; SCHNAIDF. **Patologia das Fundações**. 02 ed. ved. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2015
- REBELLO, Y. **Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**, São Paulo, Zigurate, 2008.
- SANTOS, G, V. **Patologia devido ao recalque diferencial em fundações**. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2014.
- VELLOSO, D.; LOPES, F. R.– **Fundações**. v.2. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2010.

Analytical study for simulating incompressible fluid flow in mathematics

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9482-1998>

Department of Physics, Technological Institute of Aeronautics, São Paulo, Brazil

Jorge Henrique de Oliveira Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1992-3748>

State University of Santa Cruz – Department of Exact Sciences, Ilhéus, Bahia, Brazil

ABSTRACT

The omnipresence and complexity of physical phenomena drive the strong search for tools capable of simulating them, since many applications require computationally viable, reliable and, preferably, low-cost simulations. Thus, a priori, this work has two objectives: i) understand the theoretical foundations of fluid dynamics with an important computational method aimed at simulating incompressible flows, called SPH (Smoothed Particle Hydrodynamic), which will subsequently be implemented; and ii) assist in the consolidation and application of key concepts in mathematical analysis for computer simulation. Our efforts in this work provide mathematical foundations, which in turn, describe the dynamics of fluid dynamic motion.

Keywords: computational fluid dynamics; navier-stokes equations; SPH simulation.

LIST OF SYMBOLS AND NOTATIONS

In the vast realm of communication, symbols and notations serve as powerful tools, transcending linguistic barriers and conveying complex ideas with succinct precision. This compilation aims to elucidate a diverse range of notations and symbols, providing a key to unlocking embedded language. May this section act as a guiding compass for the reader, navigating them through the symbolic landscapes of this work and enhancing their comprehension of the adopted formulations.

∇	Gradient operator
∂	Partial derivative
$\frac{Df}{Dt}$	Material derivative
div	Divergent
u	Vector field
T	Tensor field
λ, μ	Non-negative coefficients of viscosity



In each section of the text, various notations and their corresponding meanings are elucidated, providing a comprehensive understanding of the technical nuances within the respective domains.

INTRODUCTION

The prevalence and complexity of natural phenomena contribute to both the substantial demand for tools capable of simulating them and the challenges associated with designing such tools. In the realm of computer simulations, there is a pressing need to represent phenomena resulting from the interactions among natural elements, such as clouds, mountains, rivers, and trees. Frequently, these interactions either surpass the capabilities of real cameras, as seen in scenarios like space station explosions, or they prove prohibitively expensive and even perilous to film on location, exemplified by the flooding of a densely populated city or the rapid spread of a forest fire. A multitude of other applications also necessitates visually realistic computer simulations of natural phenomena, spanning domains like computer gaming and others.

The increase in computational power and the ready availability of ample memory have facilitated the simulation of a myriad of natural phenomena on standard hardware, with a particular emphasis on achieving visual realism. These advancements, coupled with the growing demand for simulations that closely mimic reality, have spurred the scientific community to focus on the development of methodologies and techniques for simulating physical phenomena. Consequently, there has been a substantial expansion in the body of literature dedicated to the simulation of natural elements over the past decade. It is imperative to acknowledge the necessity of crafting specialized algorithms and techniques for optimization in simulation, achieved through the adaptation of existing Computational Fluid Dynamics (CFD) methods and the creation of new techniques tailored to graphical requirements. This introductory work abstains from an exhaustive exploration of related issues, as these are effectively addressed through the application of the techniques adopted for simulating fluid motion across diverse applications.

COMPUTER SIMULATION

An overview of computer simulation

The fundamental objective of natural science is to provide the most precise description of reality possible, facilitating a comprehensive comprehension of natural phenomena and, in turn, obtaining a broader understanding of the behavior of objects under specific conditions. This pursuit encompasses the validation of a wide array of phenomena occurring on scales spanning orders of magnitude, ranging from the exploration of the fundamental nature of matter in quantum mechanics to the investigation of the origins of the universe. Historically, two methodological approaches have been employed to unveil the laws governing the natural world: the empirical and the theoretical. The empirical approach aims to uncover physical laws through observations supported by experiments and a variety of measuring devices and instruments. One of the prominent figures in this regard was Galileo Galilei,

who played a pivotal role in the scientific revolution. His groundbreaking experiments, such as those conducted from the Leaning Tower of Pisa, revealed that bodies of differing masses fall to the ground at the same rate, a foundational observation that significantly influenced the advancement of scientific understanding.

The theoretical approach, conversely, translates the laws of nature into mathematical expressions, utilizing the language of differential and integral calculus to elucidate how specific quantities evolve in relation to one another. A classic example of this theoretical insight is found in the well-known episode involving an apple's descent, which inspired Sir Isaac Newton to postulate that the same force of gravity governs the entire cosmos. This revelation led to the development of Newton's theory of gravitation, which also encompassed his three laws governing the motion of solid bodies. James Maxwell is credited with the formulation of the equations governing electromagnetic fields, and Albert Einstein is renowned for conceiving his groundbreaking theory of relativity, all through rigorous theoretical work. The mathematical foundation for describing fluid flow, encompassing variables such as velocity, pressure, and temperature in both spatial and temporal dimensions, relies on the Navier-Stokes and Euler equations. However, it is essential to acknowledge that both the theoretical and practical approaches have their limitations. In certain domains, conducting physical experiments, such as investigating the consequences of an oil spill or accidents in nuclear reactors, is inherently precluded due to safety concerns.

Experiments involving measurements frequently encounter limitations due to extended durations, which can be exceptionally protracted, or when the quantities under investigation exhibit extreme scales, ranging from the minute, such as electric currents in microprocessors, to the colossal, as observed in the birth of stars and galaxies. Moreover, a multitude of experiments entail diverse configurations and necessitate measurements at a limited number of discrete points. This is notably evident in fields like weather forecasting and the study of atmospheric phenomena, including tornadoes, hurricanes, and tsunamis. Conversely, the mathematical equations that accurately depict the physical world often become exceedingly intricate, rendering analytical solutions infeasible. In many instances, exact solutions can only be achieved for highly simplified models. In addition to the conventional practical and theoretical methodologies, simulations have emerged in recent years as a third approach that amalgamates the strengths of the two previously mentioned traditional methods.

At present, computational simulations find widespread utility across diverse scientific and industrial domains. Notably, in the field of mechanical engineering, these simulations play a pivotal role in the exploration of the properties of elastic solids. They are instrumental in vehicle design, structural stability analysis, and ongoing efforts to enhance structural integrity. In the realm of chemical applications, numerical simulations serve as a valuable tool for optimizing reactions involving various substances, as seen in processes like combustion. Additionally, their scope extends to the investigation of phenomena such as melting and coating processes, as well as the critical domain of weather forecasting. For a comprehensive overview of the numerous applications, one can refer to the work by Kaufmann & Smarr (1992). Those seeking a deeper understanding of the discretization of the differential equations involved can consult the research by Golub & Ortega (2014).

With its diverse array of applications, numerical simulation undeniably stands as a cutting-edge technological domain. In recent years, it has emerged as an invaluable tool for investigating environmental issues, among a myriad of others as previously mentioned. These are just a few tangible examples from a broader spectrum of knowledge that harnesses numerical simulation, prominently exemplified by Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD, in particular, excels in providing highly accurate insights into the physical and physicochemical processes exhibited by fluid flow. This computational tool is underpinned by the Navier-Stokes equations, which, even in their two-dimensional formulation, incorporate non-linear terms, necessitating specific simplifications for problem resolution. In essence, these equations possess the capability to model a wide range of flow regimes, encompassing laminar, turbulent, compressible, and incompressible flows, both internally and externally. However, it is essential to recognize that recalibrating the flow field around a body at each time step introduces an additional computational load, necessitating a stable and dependable numerical approximation for resolution. This exemplifies the critical relevance of this field of knowledge and its expanding horizons, underscoring its ever-increasing significance.

It's imperative to recognize that the current landscape offers a multitude of commercial software solutions designed to develop and implement algorithms, providing attractive and efficient alternatives for specific scenarios. Nevertheless, this landscape presents a dual dynamic, as some commercial software entails substantial costs and necessitates periodic license renewals. Additionally, many of these programs operate under the “closed-source” paradigm, restricting access to their internal programming structure, even when such modifications are warranted. This investigation does not aim to critique commercial software. On the contrary, these tools are robust and invaluable for evaluating diverse scenarios across a range of applications.

EQUATIONS OF FLUID DYNAMIC MOTION

This section is dedicated to elucidating fundamental concepts and outcomes in mathematical fluid dynamics. The governing equations for fluid motion will be deduced based on fundamental conservation laws and the presumptions of continuum fluid mechanics. Our derivations will maintain generality until it becomes necessary to tailor our outcomes to the flows predominantly simulated in computer simulations, namely, incompressible inviscid flows and incompressible Newtonian flows characterized by uniform viscosity.

Through this theoretical exposition, we aim to acquire a robust comprehension of the underlying assumptions inherent in the equations of motion employed in physics-driven fluid simulation. We have selectively curated the prevailing concepts and findings from the existing literature, as well as, identified areas we perceive as ripe for further exploration in the advancement of simulations.

Our advancements stem from an in-depth exploration of select topics found in five seminal works Batchelor (1967), Chorin *et al.* (1990), and dos Santos (2007). For a more comprehensive understanding of mathematical fluid dynamics, we highly recommend interested readers to delve into these references for further elucidation.

Theorem 1 (*Reynolds' Transporte Theorem*). Let $f: \bar{D} \times I \rightarrow \mathbb{R}$ as in the smoothness

convection and $\Omega_t := \varphi(\Omega_0, t) \subseteq D$ for each $t \in I$ and $\Omega_0 \subseteq D$ the (arbitrary) reference fluid region, then

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega_t} f \, dV = \int_{\Omega_t} \left(\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} \right) dV \quad (1)$$

where dV denotes the volume element.

Prior to furnishing a proof for this outcome, we establish the subsequent lemma regarding the time derivative of $J(\mathbf{x}_0, t) := \det(\nabla \varphi(\mathbf{x}_0, t))$, where the Jacobian of φ is taken with respect to spatial coordinates.

Lemma 1. $\frac{\partial}{\partial t} J(\mathbf{x}_0, t) = J(\mathbf{x}_0, t) [\operatorname{div} \mathbf{u}(\mathbf{x}_0, t), t]$

Proof of Lemma 1. Primarily, observe that

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \nabla \varphi_i(\mathbf{x}_0, t) &= \nabla \frac{\partial \varphi_i}{\partial t}(\mathbf{x}_0, t) = \nabla [\mathbf{u}_i(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t)] = \nabla \mathbf{u}_i(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \cdot \nabla \varphi(\mathbf{x}_0, t) \\ &= \sum_{j=1}^n \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \nabla \varphi_j(\mathbf{x}_0, t). \end{aligned}$$

From this equality, the n -linearity and the antisymmetry of $\det(\cdot)$, we have

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} J(\mathbf{x}_0, t) &= \frac{\partial}{\partial t} \det(\nabla \varphi(\mathbf{x}_0, t)) = \frac{\partial}{\partial t} \det(\nabla \varphi_1(\mathbf{x}_0, t), \dots, \nabla \varphi_n(\mathbf{x}_0, t)) \\ &= \sum_{i=1}^n \det(\nabla \varphi_1(\mathbf{x}_0, t), \dots, \nabla \varphi_i(\mathbf{x}_0, t), \dots, \nabla \varphi_n(\mathbf{x}_0, t)) \\ &= \sum_{i=1}^n \det\left(\dots, \sum_{j=1}^n \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \nabla \varphi_j(\mathbf{x}_0, t), \dots\right) = \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \det(\dots, \nabla \varphi_j(\mathbf{x}_0, t), \dots) \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \det(\nabla \varphi_1(\mathbf{x}_0, t), \dots, \nabla \varphi_n(\mathbf{x}_0, t)) \\ &= \det(\nabla \varphi(\mathbf{x}_0, t)) \sum_{i=1}^n \frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial x_j}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) = J(\mathbf{x}_0, t) [\operatorname{div} \mathbf{u} \varphi(\mathbf{x}_0, t), t]. \quad \blacksquare \end{aligned}$$

Proof of Reynolds' Transporte Theorem. From the smoothness of $\varphi_t|_{\Omega_0}$ (and its inverse's), the continuity of $\varphi(\mathbf{x}_0, \cdot)$ and that $\varphi(\cdot, t_0) \equiv id(\cdot)$, we have the positivity of $J(\mathbf{x}_0, t)$ for each $\mathbf{x}_0 \in \Omega_0$ and each $t \in I$. From this, the preceding lemma and the change of variables theorem:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \int_{\Omega_t} f(\mathbf{x}, t) dV &= \frac{d}{dt} \int_{\varphi(\Omega_0, t)} f(\mathbf{x}, t) dV \\
&= \frac{d}{dt} \int_{\Omega_0} f(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&= \int_{\Omega_0} \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla f \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) (\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&\quad + \int_{\Omega_0} f(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) \frac{\partial}{\partial t} J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&= \int_{\Omega_0} \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla f \cdot \mathbf{u} \right) (\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&\quad + \int_{\Omega_0} f(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) [\operatorname{div} \mathbf{u}(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t)] dV \\
&= \int_{\Omega_0} \frac{Df}{Dt} (\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV + \int_{\Omega_0} (f \operatorname{div} \mathbf{u})(\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&= \int_{\Omega_0} \left(\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} \right) (\varphi(\mathbf{x}_0, t), t) J(\mathbf{x}_0, t) dV \\
&= \int_{\varphi(\Omega_0, t)} \left(\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} \right) (\mathbf{x}, t) dV \\
&= \int_{\Omega_t} \left(\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} \right) (\mathbf{x}, t) dV. \quad \blacksquare
\end{aligned}$$

The ensuing corollary of the transport theorem establishes a link between the Lagrangian and Eulerian perspectives (in integral form).

Corollary 1. With Ω_t and f as in the transport theorem, let Ω_1 be the fixed set in \mathbb{R}^n which coincides with Ω_t at $t = t_1$. Then at the (arbitrary) time t_1 ,

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega_t} f dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_1} f dV + \int_{\partial\Omega_1} f \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dA,$$

where \mathbf{n} is the unit outward normal, and dA the surface element, on $\partial\Omega_1$.

Proof. From the identity $\operatorname{div}(f\mathbf{u}) = \nabla f \cdot \mathbf{u} + f \operatorname{div} \mathbf{u}$ it suffices to note that $\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} = \frac{\partial f}{\partial t} + \operatorname{div}(f\mathbf{u})$. From the transport and divergence theorems,

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \int_{\Omega_t} f dV &= \int_{\Omega_1} \left(\frac{Df}{Dt} + f \operatorname{div} \mathbf{u} \right) dV = \int_{\Omega_1} \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \operatorname{div}(f\mathbf{u}) \right) dV \\
&= \int_{\Omega_1} \frac{\partial f}{\partial t} dV + \int_{\Omega_1} \operatorname{div}(f\mathbf{u}) dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_1} f dV + \int_{\partial\Omega_1} f \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dA. \quad \blacksquare
\end{aligned} \tag{2}$$

The left-hand side of this expression denotes the rate of change of the “f - content” of the fixed body of fluid occupying the region $\Omega_1 \subseteq D$ at time t_1 . The first term on the right-hand side is the rate of change of the f - content of this fixed spatial domain. And the last term is the rate of outflow of f through the fixed boundary of Ω_1 (flux of f through $\partial\Omega_1$) - see more in Meyer (1982).

While real fluids undergo volume changes, a vast majority of fluid flows deemed ‘significant’ can be effectively modeled as incompressible flows with a high degree of precision. This implies that, for numerous practical applications, such as computation simulations of everyday fluids, we can confidently consider the incompressibility of the fluid flows in question.

Definition 1 (Incompressible flow). We say that φ denotes an incompressible flow when, for any fluid region $W \subseteq \Omega_0$ and every $t \in I$

$$\text{volume}(W) = \text{volume}(\varphi, (W, t)) \Leftrightarrow \int_W dV = \int_{\varphi(W, t)} dV \Leftrightarrow \frac{d}{dt} \int_{\varphi, (W, t)} dV = 0.$$

From this definition and the transport theorem, for incompressible flows,

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{\varphi(W, t)} dV = \int_{\varphi(W, t)} \text{div } \mathbf{u} \, dv \Leftrightarrow \text{div } \mathbf{u} = 0,$$

where the right-hand side is often known as the incompressibility condition.

The incompressibility condition and *Lemma 1* also result that a flow is incompressible if and only if $J \equiv 1$, since $J(\cdot, t_0) = 1$. From the equation of continuity (the reader can check in Chorin *et al.* (1990)), and the fact that $\rho > 0$, a fluid is incompressible if and only if $\frac{D\rho}{Dt} = 0$ that is, the mass density is constant following the fluid. If the fluid is homogeneous (i.e., $\rho = \text{constant}$ in space), it also follows that the flow is incompressible if and only if ρ is constant in time. So, for a homogeneous incompressible fluid, $\rho(\mathbf{x}, t) = \rho_0 > 0$.

INTRODUCTION TO SIMULATION WITH SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS (SPH)

This section is dedicated to providing an explanation of the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) approach for simulating fluid flows. Our exposition is largely influenced by the contributions of Neto (2007), who expanded Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) in his PhD thesis, to model non-Newtonian viscoplastic and multiphase flows, particularly for applications in computer graphics.

We prioritize clarity and simplicity in our presentation. While our discussions are confined to a straightforward flow regime, we offer supplementary references for those interested in more comprehensive descriptions of the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) structure and its computational implementation issues (refer to Gingold & Monaghan (1977)).

Flow regime and governing equations

Our explanation of the Smoothed Particle Hydrodynamics method for flow simulation is grounded in a scenario where the fluid exhibits uniform viscosity, and the pressure adheres to an equation of state of the following form $p(x, t) = f(\rho(x, t))$. Given these assumptions, the governing equations for this fluid flow are:

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho(\nabla \cdot \mathbf{u}) \quad (3)$$

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p + (\lambda + \mu)\nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mu\Delta\mathbf{u} + \rho\mathbf{b} \quad (4)$$

known, respectively, as continuity and momentum. The Lagrangian formulation employed to articulate the governing equations stems from the discretization strategy embraced by Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), which also makes use of the identity $\mathbf{a} = \frac{D\mathbf{u}}{Dt}$ (where \mathbf{a} stands for acceleration).

Representation of the field and discretization of the fluid

Instead of expressing field quantities through regularly sampled values and their differentials through difference equations (as done in stable fluids), SPH relies on scattered data approximation schemes and analytical differentiation of its approximations. This is achieved by leveraging the integral representation of a function $f: \Omega \subseteq \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ as a convolution with Dirac's delta distribution δ and that this distribution can be characterized as a generalized limit of specific smooth functions W_h , i.e., $h \rightarrow 0 \Rightarrow W_h \rightarrow \delta$:

$$f(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} f(\mathbf{x}') \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}') d\mathbf{x}' = \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \int_{\Omega} f(\mathbf{x}') W_h(\mathbf{x} - \mathbf{x}') d\mathbf{x}' \right\}. \quad (5)$$

Motivated by Eq. (4), the SPH approximation $\langle f \rangle$ to the field f is defined by a given family W_h of smooth kernel functions and a fixed $h > 0$ as

$$\langle f(\mathbf{x}) \rangle := \int_{\Omega} f(\mathbf{x}') W_h(\mathbf{x} - \mathbf{x}') d\mathbf{x}', \quad (6)$$

which is numerically discretized by the quadrature formula

$$\langle f(\mathbf{x}) \rangle \approx \sum_j f(\mathbf{x}_j) W_h(\mathbf{x} - \mathbf{x}_j) \Delta V_j = \sum_j f_j \frac{m_j}{\rho_j} W_h(\mathbf{x} - \mathbf{x}_j), \quad (7)$$

where the weight $\Delta V_j = \frac{m_j}{\rho_j}$ corresponds to the volume associated to the j -th fluid particle (located at the quadrature point $\mathbf{x}_j \in \Omega$), m_j to its mass and ρ_j to its associated specific mass. This quadrature formulation for the integral SPH approximation is construed as discretizing the fluid mass into a finite number of particles that evolve based on the governing equations. These equations describe the system dynamics through a coupled set of nonlinear ordinary differential equations (ODEs), a topic addressed in the subsequent subsection.

Inspecting Eq. (6), we notice that whenever the family W_h is composed by compactly supported kernels, with influence radius say κh , i.e., $\exists \kappa > 0$ such that

$\|x - x_j\| \geq \kappa h \Rightarrow W_h(x - x_j) = 0$, the sum in Eq. (6) effectively only takes place for those particles which are less than κh away from x . Defining the neighboring particles of a point $x \in W$ as $N(x) := \{j \in \mathbb{N} \mid \|x - x_j\| < \kappa h\}$ we can rewrite the discrete SPH approximation Eq. (6) as

$$\langle f(x) \rangle \approx \sum_j f_j \frac{m_j}{\rho_j} W_h(x - x_j) = \sum_{j \in N(x)} f_j \frac{m_j}{\rho_j} W_h(x - x_j). \quad (8)$$

The discretized equations that govern the system

The method utilized by SPH to discretize the governing equations relies on the Lagrangian formulation of the fluid flow's governing equations. While Müller *et al.* (2003) deviates from the mentioned equations, we embrace the differential expression of momentum along with the tensor field, namely:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \text{div } \mathbf{T} + \rho \mathbf{b}, \quad (9)$$

where $\mathbf{T} = -p\mathbf{I} + \boldsymbol{\sigma}$, and $\boldsymbol{\sigma} = \lambda \text{tr}(\mathbf{D})\mathbf{I} + 2\mu\mathbf{D}$; yet $D = 1/2(\nabla\mathbf{u} + \nabla\mathbf{u}^T)$, and ; yet , we have the following set of equations:

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \text{div} [\lambda \text{tr}(\mathbf{D})\mathbf{I} + 2\mu\mathbf{D}] + \mathbf{b}. \quad (10)$$

As we have discretized the fluid mass into a finite number of particles, the behavior of this particle system is determined by the temporal changes in the position, velocity, and density of each particle. Hence, the behaviour of our system is described by how $\frac{dx}{dt}$, $\frac{D\rho}{Dt}$, and $\frac{D\mathbf{u}}{Dt}$ are determined for each particle along this particle's trajectory $x(t)$. Thus, for particle i , we have:

$$\frac{dx_i}{dt} = \mathbf{u}_i, \quad (11)$$

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\rho_i \langle \nabla \cdot \mathbf{u}_i \rangle, \quad (12)$$

$$\mathbf{D}_i = \frac{1}{2} (\langle \nabla \mathbf{u}_i \rangle + \langle \nabla \mathbf{u}_i \rangle^T), \quad (13)$$

$$p_i = f(\rho_i), \quad (14)$$

$$\boldsymbol{\sigma}_i = \lambda \text{tr}(\mathbf{D}_i)\mathbf{I} + 2\mu\mathbf{D}_i, \quad (15)$$

$$\frac{d\mathbf{u}_i}{dt} = -\langle \frac{1}{\rho_i} \nabla p_i \rangle + \langle \frac{1}{\rho_i} \text{div } \boldsymbol{\sigma}_i \rangle + \langle \mathbf{b}_i \rangle. \quad (16)$$

Observe the transition in notation from $\frac{D}{Dt}$ to $\frac{d}{dt}$ to , as we are addressing the variations in a particle's attributes rather than derivatives of field quantities along trajectories in this context. Where each spatial derivative is approximated by the symmetric rules we derived before (to ensure conformance with Newton's third law).

FINAL CONSIDERATIONS

Thinking in the computational context, challenges often arise when dealing with

boundaries. Although in principle no specific computational implementation was carried out in this study, it is recognized that extremely small-time steps are imperative for numerical simulations in order to avoid what are commonly known as ‘numerical explosions’, or, in other words, numerical inconsistencies. Consequently, a subsequent study will be presented, based on the works of dos Santos & de Oliveira Sales (2023), which will present a new numerical approach that aims to treat these numerical inconsistencies, and how they can be overcome with the objective of optimizing the calculation process, as well as, its computational cost. In principle, this work employs a numerical scheme for responding to readings and collisions between fluid dynamic particles, which are similar to what occurs in rigid body simulations. The initial exploration facilitated the adoption of mathematical procedures that prove to be effective in improving the stability of particles in the flow acceleration field during their evolution. Each particle operates independently, using interpolated accelerations. This mathematical approach demonstrates adaptability in both temporal and spatial domains. Initial studies, exemplified by Hernquist & Katz (1989), report the first advances in relation to the computational process (simulation) and the complexity in advancing simulation time.

REFERENCES

- Batchelor, G. K. (1967). *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge university press.
- Chorin, A. J., Marsden, J. E., & Marsden, J. E. (1990). A mathematical introduction to fluid mechanics (Vol. 3, pp. 269-286). New York: Springer.
- dos Santos, G. T. (2007). *Uma abordagem lagrangeana para simulação de escoamentos de fluidos viscoplásticos e multifásicos* (Doctoral dissertation, PUC–Rio). https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0321093_07_pretextual.pdf
- dos Santos, R. D. C., & de Oliveira Sales, J. H. (2023). Treatment for regularity of the Navier-Stokes equations based on Banach and Sobolev functional spaces coupled to anisotropic viscosity for analysis of vorticity transport. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(8), 16656-01e. <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/download/16656/8253>
- dos Santos, R. D. C., & Sales, J. H. O. (2023). Turbulent Flow Analysis with Banach and Sobolev Spaces in the LES Method Incorporating the Smagorinsky Subgrid-Scale Model. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(10), 16534-01e. <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/download/16534/8224>
- Gingold, R. A., & Monaghan, J. J. (1977). Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. *Monthly notices of the royal astronomical society*, 181(3), 375-389. <https://adsabs.harvard.edu/full/1977MNRAS.181..375G7>
- Golub, G. H., & Ortega, J. M. (1992). *Scientific computing and differential equations: an introduction to numerical methods*. Academic press.
- Hernquist, L., & Katz, N. (1989). TREESPH - A unification of SPH with the hierarchical tree method. *Astrophysical Journal Supplement Series (ISSN 0067-0049)*, vol. 70, June 1989, p. 419-446. Research supported by the San Diego Supercomputer Center, Pittsburgh Supercomputer Center, and New Jersey High Technology Grant., 70, 419-446. <https://adsabs.harvard.edu/full/1989ApJS...70..419H>
- Kaufmann, W. J., & Smarr, L. L. (1992). *Supercomputing and the Transformation of Science*. WH Freeman & Co.

Melo, S. T., & Neto, F. M. (1991). *Mecânica dos fluidos e equações diferenciais*. IMPA.

Meyer, R. E. (2012). *Introduction to mathematical fluid dynamics*. Courier Corporation.

Müller, M., Charypar, D., & Gross, M. (2003, July). Particle-based fluid simulation for interactive applications. In *Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* (pp. 154-159). <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1739fd145ef1d327ab301cacc017af2a87f33086>

Índice de desempenho de resfriamento sazonal, o IDRS, substitui o CEE, coeficiente de eficiência energética no Brasil, motivado pela aplicação de inversores de frequência em sistemas de climatização residencial

Seasonal cooling performance index (IDRS) replaces CEE, energy efficiency coefficient in Brazil, driven by the application of frequency inverters in residential air conditioning systems

Lucas Coelho da Silva
Douglas Morais
Mauro da Silva Santos
Leandro Cleyton da Silva
Alan de Paula Marques

RESUMO

Este estudo propõe a introdução do Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) como uma métrica alternativa ao Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) no contexto brasileiro, especialmente considerando a crescente adoção de inversores de frequência em sistemas de climatização residencial. Para demonstração dos impactos econômicos gerados, foi adotado como exemplo um Split modelo com capacidade frigorígena, desta forma foi realizado um estudo comparativo dos equipa-



mentos residenciais do tipo split fixo e split inverter, desprezando os equipamentos do tipo ACJ, portáteis e outros, conforme a própria classificação do IBGE. Os resultados obtidos neste estudo mostram que substituindo todos os aparelhos de ar-condicionado fixos por modelos inverters, a redução média mensal a nível Brasil, seria de 4,96 GWh para 0,95 GWh, ou seja, redução de 4/5 na demanda de energia elétrica e, na redução da conta de energia. Com essa demonstração, é perceptível enxergar os benefícios da evolução da eletrônica de potência e suas aplicações em diversos setores.

Palavras-chave: inversor de frequência; ar condicionado; HVAC.

ABSTRACT

This paper proposes the introduction of the Seasonal Cooling Performance Index (IDRS) as an alternative metric to the Energy Efficiency Coefficient (CEE) in the Brazilian context, particularly considering the growing adoption of frequency inverters in residential air conditioning systems. To demonstrate the economic impacts generated, a Split model with refrigeration capacity was chosen as an example. Thus, a comparative study of residential equipment, including fixed-split and inverter-split types, was conducted, excluding ACJ, portable, and other equipment as per the IBGE classification. The results obtained in this study show that by replacing all fixed air conditioning units with inverter models, the average monthly reduction at the national level would be from 4.96 GWh to 0.95 GWh, representing an 4/5 reduction in electrical demand and a decrease in the energy bill. With this demonstration, the benefits of power electronics evolution and its applications across various sectors become apparent.

Keywords: Frequency inverter; air conditioning; HVAC.

INTRODUÇÃO

Atualmente tanto as empresas têm cada vez mais avançado na busca da melhoria da eficiência energética de seus equipamentos em especial a indústria de sistemas de ar-condicionado residencial. Desta forma conhecer os índices de eficiência atuais aplicados no mercado brasileiro é de fundamental importância. Atualmente no mercado brasileiro está ocorrendo uma transição de metodologia do tradicional Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) para o emergente Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) sendo esta motivada pela ampla aplicação de inversores de frequência em sistemas de climatização, essa transição representa uma mudança crucial para uma avaliação de desempenho mais precisa e abrangente.

O IDRS e o CEE servem como métricas para avaliar a eficiência energética de sistemas de ar-condicionado, embora com características distintas. O CEE, um referencial convencional, quantifica a eficiência energética geral, mas deixa a desejar ao não capturar as nuances dinâmicas das variações sazonais. Em contraste, o IDRS aborda especificamente essa limitação, oferecendo um índice de desempenho de resfriamento sazonal adaptado às condições climáticas únicas experimentadas no Brasil. Ambos os índices empregam

metodologias distintas para avaliar a eficiência energética. O CEE tradicionalmente se baseia em um cálculo do consumo de energia, fornecendo uma medida de eficiência. Enquanto isso, o IDRS integra o impacto das flutuações sazonais, oferecendo uma avaliação mais detalhada que se alinha com o clima variado do Brasil. A aplicação de inversores de frequência em sistemas de climatização residencial ainda aprimora a precisão do IDRS, considerando a interação dinâmica entre tecnologia e demandas ambientais.

As diferenças metodológicas entre o IDRS e o CEE destacam a importância de adotar uma abordagem mais detalhada e sensível às estações do ano. À medida que os sistemas de ar-condicionado residencial se tornam cada vez mais equipados com inversores de frequência, o IDRS surge como uma ferramenta poderosa para refletir a verdadeira eficiência desses sistemas em condições climáticas variadas. Ao fazer a transição do CEE para o IDRS, o Brasil está pronto para promover uma avaliação mais precisa e abrangente da eficiência energética, fomentando avanços alinhados com os objetivos globais de sustentabilidade. Desta forma este trabalho visa avaliar a aplicação IDRS aplicado a sistemas de HVAC no mercado brasileiro.

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Metodologia

Para demonstração dos impactos econômicos gerados, foi adotado como exemplo um Split modelo com capacidade frigorígena de 9.000 BTU/h (2636,10 Watts), usando fluido refrigerante R-32, corrente nominal de 3 Ampères quando em operação com tensão de 220 volts monofásica, sistema a dois cabos e aterramento.

O mesmo Split citado acima foi adotado como base de cálculo para comparação dos níveis de eficiência e economia em rotação fixa e variável. O consumo médio residencial de baixa tensão no estado de São Paulo no ano de 2022, utilizado no método, foi de R\$ 0,656 centavos de reais por kWh. Para considerar uma base mínima de potência e consumo energético mensal pelos usuários residenciais, foi considerado o censo demográfico de 2022 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O período de uso foi estimado em 8 horas diárias e 30 dias por mês.

A pesquisa possui foco comparativo apenas nos equipamentos residenciais do tipo split fixo e split inverter, desprezando os equipamentos do tipo ACJ, portáteis e outros, conforme a própria classificação do IBGE. Além disso, foi adotado que todos os equipamentos levantados seriam de 9.000 BTU/h com dados de consumo do split modelo citado acima. Foi adotado também que cada residência teria instalado apenas 1 ar condicionado Split de 9.000 BTU/h conforme Split modelo, ou seja, para fins de cálculos a mesma quantidade de domicílios é a mesma quantidade de Splits.

Conversores de potência

A conversão de potência pode ser definida como o processo de modificação da energia de uma forma a outra. Nesse sentido, é possível converter a tensão e a corrente elétrica. Os conversores, por sua vez, são constituídos por MOSFET (Transistor de Efeito

de Campo Semicondutor de Óxido Metálico), IGBT (Transistor Bipolar de Porta Isolada), resistores, limitadores de fluxo de cargas elétricas por meio da energia térmica, capacitores que se opõem as variações de tensão, e indutores que se opõem as variações de corrente. Além disso, possuem dispositivos auxiliares como reguladores e transformadores de tensão, às vezes em circuitos complexos e integrados.

Basicamente são classificados de acordo com a entrada e saída de energia que trabalham. São eles conversores CC-CA, CA-CC, CC-CC e CA-CA, considere “CC” corrente contínua e “CA” corrente alternada. Os conversores CC-CA, conhecidos como inversores, recebe tensão contínua e libera tensão alternada com controle de amplitude e frequência. Os conversores CA-CC, conhecidos como retificadores, recebe tensão alternada e libera tensão contínua. Os conversores CC-CC, conhecidos como Chopper, recebe corrente contínua e libera corrente contínua com amplitude maior ou menor. Seria equivalente a um transformador CA, mas com uma relação de espiras variável. Os conversores CA-CA, conhecidos como inversores, recebe corrente alternada e libera corrente alternada com controle de amplitude, podendo ser maior ou menor de forma controlada.

Conversores de frequência

Os conversores ou inversores de frequência são dispositivos fundamentais em sistemas de controle de motores e desempenha um papel crucial na automação industrial, eficiência energética e na operação suave de motores elétricos em uma variedade de aplicações. Esses dispositivos variam a frequência e a tensão de saída fornecida a um motor elétrico, permitindo o controle preciso da velocidade e, conseqüentemente, da carga de trabalho do motor.

A frequência da rede que alimenta a carga normalmente em uma faixa de 0,5 a 400 Hertz. Eles convertem a tensão da rede alternada senoidal em tensão contínua e, em seguida, a convertem de forma isolada em tensão e frequência variáveis. A entrada pode ser monofásica ou trifásica, sendo a saída trifásica padrão para ambas as entradas. Os conversores de frequência podem ser classificados com base na sua variação, seja por tensão ou vetorial, com base na sua aplicação e com base na potência. Os conversores de potência são utilizados para controlar a potência elétrica em sistemas, enquanto os conversores de frequência são usados para controlar a velocidade de motores elétricos. Ambos podem funcionar em conjunto.

Tipos de modulação da onda

A seguir são apresentadas algumas técnicas de modulação de sinais de controle:

- AM – Modulação em Amplitude
- FM – Modulação em Frequência
- PM – Modulação em Fase
- FSK – Modulação por Chaveamento de Frequência
- PWM – Modulação por Largura de Pulso

Modulação em Amplitude: voltada para comunicações, a amplitude da onda portadora é modificada proporcionalmente ao sinal da mensagem, que pode ser áudio, vídeo ou dados. Uma das técnicas mais antigas de modulação e devido a sua simplicidade é suscetível a problemas e interferências de ruídos. **Modulação em Frequência:** também voltada para comunicações, a frequência da onda portadora é modificada, usada no rádio FM, possui alta qualidade e resistência a interferências e ruídos em comparação com a “AM”. **Modulação em fase:** a modulação ocorre em uma fase da onda portadora em relação a uma fase de referência. Semelhante à modulação “FM”, porém variando a fase, utilizada em sistemas de transmissão digital por satélite. **Modulação por chaveamento de frequência:** a modulação ocorre o usando 0 e 1, usado em modems, fax e transmissão de rádios. **Modulação por largura de pulso:** PWM é uma técnica capaz de controlar a quantidade média de energia entregue a um dispositivo ou carga, como um motor elétrico, um LED (Diodo Emissor de Luz) ou um aquecedor. É uma técnica amplamente usada para controlar a velocidade dos motores elétricos, a intensidade luminosa de um LED, a tensão de saída de fontes de alimentação comutadas (como conversores CC-CC), entre outras aplicações. O PWM - Pulse Width Modulation, na tradução para o português é a modulação por largura de pulsos, é uma técnica de modulação digital que utiliza de pulsos para gerar um nível de tensão média. As duas aplicações mais comuns da técnica é entregar valores variáveis de tensão à carga ou até mesmo modular um sinal através de uma portadora, uma onda quadrada, isto baseado no seu duty-cycle, que é a proporção em que a onda fica em nível alto em relação ao tempo total (Boglietti *et al.*, 1993).

Os elementos das ondas periódicas

Para introdução ao assunto, destacam-se alguns elementos de ondas periódicas:

- Amplitude são as posições de oscilação máxima chamada de crista e oscilação mínima chamada de vale.
- Período é o tempo necessário para formar o comprimento da onda normalmente medido em segundos.
- Comprimento da onda é a distância entre o início e o fim de dois vales ou cristas consecutivas.
- Frequência é a quantidade de vezes que esse comprimento de onda se repete no intervalo de um segundo.
- Ciclo de trabalho (Duty Cycle) é expresso em percentual do tempo ligado pelo tempo total de um período.

O método PWM é o mais utilizado na indústria. Com ele é possível alterar o valor médio de pulsos de tensão com objetivo de obter na carga o valor de tensão ou corrente desejado.

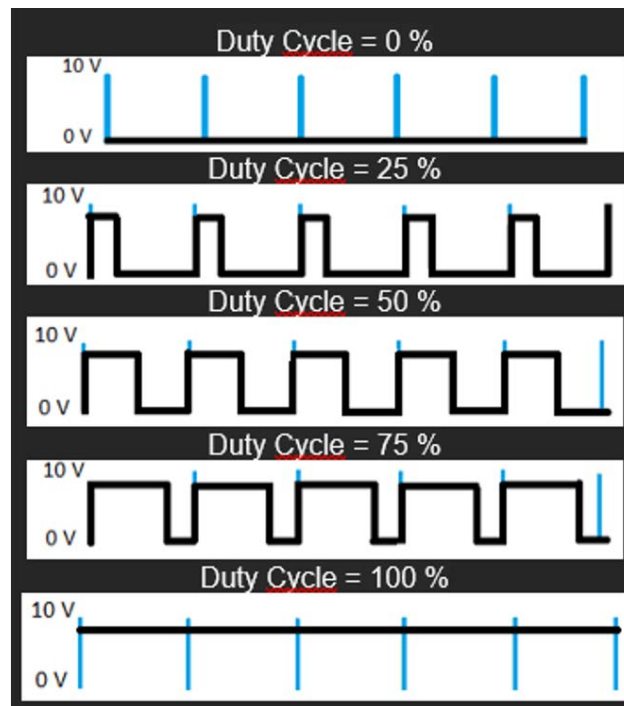
PWM - Modulação por largura de pulso

A figura 1 demonstra o conceito de quatro formas de ciclo de trabalho, considerando nível lógico alto com 10 Volts e nível lógico baixo com 0 Volts. Para variar a velocidade de um

motor, muitos poderiam se perguntar por que não usar reostato, resistores, potenciômetros, circuitos transistorizados ou outros processos lineares resistivos para controlar a potência final. Contudo, como a potência é o produto da resistência com o quadrado da corrente e automaticamente resultaria em alto consumo de potência e perda de calor nos componentes. O PWM por sua vez, liga e desliga o sinal em períodos distintos e passa pelo dispositivo um valor médio de tensão.

Com o sinal PWM, é possível enviar dados, áudios digitais, controle de brilho de telas como o LCD (Display de Cristal Líquido) e OLED (Diodos Orgânicos Emissores de Luz), controle de servo motores, controle de velocidade de motores entre outros.

Figura 1 - Princípio da modulação de onda – Duty Cycle (Ciclo de Trabalho).

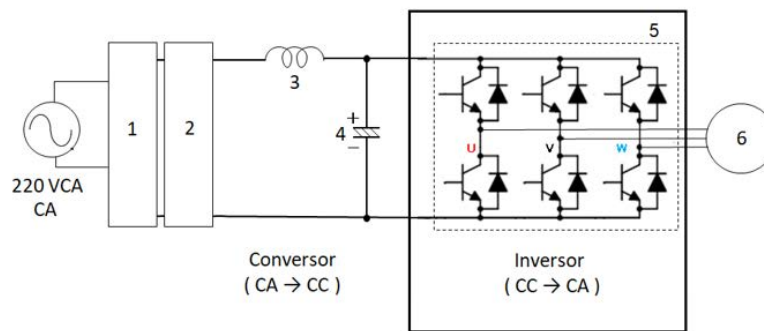


Fonte: Próprio autor.

Split inverter

Um Split possui entradas de dados, trata-se da temperatura desejada pelo usuário no controle remoto e os sensores que captam informações da sala e da temperatura do fluido refrigerante. Possui o módulo de controle de dados, onde julga as informações de entradas, realiza cálculos, toma decisões e opera os dispositivos presentes no equipamento. E por fim as saídas de dados, os códigos de erros, leds, sirenes de alarmes, válvulas, moto ventilador e o compressor. Para o controle de um Split inverter, a alimentação de entrada é em corrente alternada, normalmente 220 Volts, passa pelo filtro de ruído (1), pela ponte de diodos (2) que retifica para corrente contínua, passa pelo reator (3) que reduz as correntes pulsantes para corrente linear e pelo capacitor (4) para suavizar a corrente pulsante e, por fim, chega ao módulo de potência conhecido como IPM (5) para então variar a velocidade do compressor (6). A figura 2 mostra o circuito didático da topologia de conversões presente no Split.

Figura 2 - Circuito didático da topologia de conversões presente no Split (CA = corrente alternada / CC = corrente contínua).



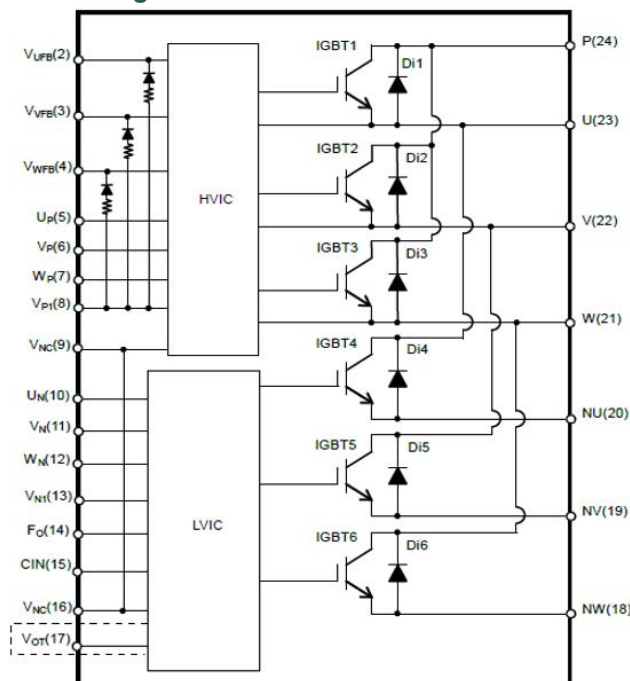
Fonte: Próprio autor.

Na placa da unidade externa e interna, existe uma MCU (Unidade de Controle Microprocessado) responsável por gerar um sinal PWM que controlará o IPM (Módulo de Potência Inteligente) em função da lógica de controle. Internamente, o IPM é constituído por seis IGBTs (Transistor Bipolar de Porta Isolada) em dois barramentos, sendo três ligados no barramento negativo e três ligados ao barramento positivo, ou seja, nível lógico baixo e nível lógico alto.

Circuito interno do IPM - módulo de potência inteligente

Na figura 3, é apresentado o circuito interno do IPM (5), item cinco da imagem dois. Para cada saída “U” (23), “V” (22) e “W” (21), existe um par de IGBTs que estão curto-circuitados, porém, para que não haja a queima do componente, a MCU é responsável por garantir que eles não conduzam ao mesmo tempo, utilizando o conceito nível baixo com os terminais “Un” (10), “Vn” (11) e “Wn” (12) e nível alto nos terminais “Up”(5), “Vp”(6) e “Wp” (7).

Figura 3 - Circuito interno do IPM.

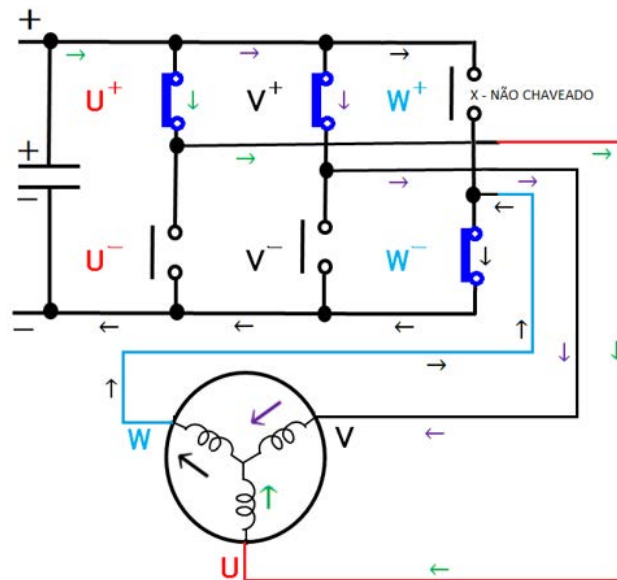


Fonte: Datasheet PSS10S92F-6-AG - (Página 1, Mitsubishi Electric, March 2014).

Operação básica do compressor

O equipamento possui entrada de alimentação monofásica ou bifásica. Embora o compressor esteja ligado com três cabos, não é correto afirmar que o compressor é trifásico. Nesse caso é importante entender o funcionamento do módulo de potência inteligente citado acima com o compressor. Dentro do compressor, existem três bobinas que estão em fechamento estrela, chamadas de “U”, “V” e “W”, interligados nas saídas, 21, 22 e 23 do IPM.

Imagem 4 - Circuito didático de chaveamento dos IGBTs com a bobina do compressor.



Fonte: Próprio autor.

Quando “U+” e “V+” estão chaveados, eles estão com sinal positivo e “W-” é chaveado com sinal negativo, e vice-versa com as outras duas possibilidades, tudo isso é controlado pelo sinal PWM emitido pela MCU. “W+” fica na condição não chaveada nesse intervalo, é importante frisar que isso ocorre em altas frequências.

Split convencional

À medida que os condicionadores de ar se tornaram popular na década de 50, os compressores eram de velocidade fixa, também conhecido também como convencional. Nessas unidades, os compressores operavam em sua capacidade máxima a 60 Hertz. Os sistemas fixos incluíam uma proteção contra partidas cíclicas baseada em um tempo e, portanto, tinham uma proteção chamada de histerese. Isso resultava em um atraso na ativação e desativação do compressor com base no set point (temperatura desejada), geralmente em torno de 1 a 2 graus Celsius. Esse atraso causava desconforto térmico para o usuário. Além disso, os compressores tinham uma corrente de pico que poderia chegar de 7 a 13 vezes a corrente nominal. Usando o Split modelo em velocidade fixa a 60 Hertz com corrente de 3 Ampères e tensão 220 Volts , a potência obtida é de 660 Watts ou 0,660 kW. Logo, o consumo hora calculado é de:

$$\text{Consumo hora} = \left(\frac{\text{Potência}}{1000} \right) \times \text{Valor do kWh} \quad (1)$$

$$\text{Consumo hora} = \left(\frac{660}{1000} \right) \cdot 0,0656 \quad (1)$$

$$\text{Consumo hora} = 0,43296 \text{ reais hora} \quad (1)$$

Adotando um uso diário de 8 horas e mês de 30 dias o consumo mensal é de:

$$\text{Consumo mensal} = \text{valor de uma hora} \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (2)$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 0,43296 \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (2)$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 103,91 \quad (2)$$

O coeficiente de eficiência energética, o CEE (W/W). Trata-se da relação do que produz em refrigeração e o quanto ele gastou de energia elétrica para isto.

$$CEE = \left(\frac{\text{Potência refrigeração em } W}{\text{Potência elétrica em } W} \right) \quad (3)$$

$$CEE = \left(\frac{2636,1}{660} \right) \quad (3)$$

$$CEE = 3,99 \quad (3)$$

Valor adimensional. Com essa informação, foi possível classificar o Split usando o método antigo a sua classificação, de acordo com a metodologia a seguir.

Classificação antiga

Dos registros mais antigos, destaca-se o INMETRO criado em 1973, sendo este responsável por verificar produtos conforme as condições mínimas necessárias. O programa Procel criado em 1985 para combater o desperdício e quais produtos apresentam os melhores níveis de eficiência e o Selo Procel criado em 1993, uma espécie de certificado voluntário que envolve o INMETRO, associações, fabricantes, pesquisadores de universidade e laboratórios. As políticas de etiquetagem e índices mínimos de eficiência energética têm como base influenciar os fabricantes a desenvolverem equipamentos mais eficientes, contribuindo com a redução da demanda potencial de eletricidade. No ano de 2001, a Lei de Eficiência Energética foi aprovada para fortalecer os programas de etiquetagem, nessa mesma Lei foi criado o CGIEE, comitê responsável por determinar os índices mínimos para cada produto. Os índices mínimos por sua vez foram introduzidos no Brasil em 2007 e passaram por três revisões (2011, 2018 e 2020). A tabela 1 de classificação antiga prevista na última portaria que trata do assunto: De acordo com CEE do Split modelo com compressor em velocidade fixa cálculo na equação três, a classificado seria classe A, conforme imagem.

Tabela 1 - Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo Split.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		
A	3,23	<CEE	
B	3,02	<CEE ≤	3,23
C	2,81	<CEE ≤	3,02
D	2,60	≤CEE ≤	2,81

Fonte: Portaria nº 410, de 16 de agosto de 2013 (Tabela A.2).

Split inverter

Como visto, os conversores de frequência é um sistema eletrônico que permite variar a velocidade do motor quando recebe algum tipo de informação ou controle por meio dos dados de entrada. Com isso, através do MCU, o compressor de um Split Inverter reduz ou aumenta a sua velocidade de acordo com a carga térmica do ambiente, melhorando o conforto térmico por não ter mais a necessidade de histerese como exposto no Split convencional, prolongando a vida útil do equipamento e minimizando o desperdício de energia elétrica. Antes, os Splits Inverters eram classificados como se fossem Splits fixos e com o novo método, o IDRS, isso mudou e aumentou duas categorias, a “E” e “F”.

Classificação nova – IDRS

A nova classificação prevista na primeira portaria que trata do assunto, a Portaria do INMETRO nº 234 de 29 de junho de 2020 e Revogada pela Portaria do INMETRO nº 269 de 22 de junho de 2021 sendo esta complementada pela Portaria nº 230 de 31/05/2022 incluindo Splits do tipo Cassete e demais, acima de 36.000 Btu/h, ambas do INMETRO. IDRS, Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal, é a razão entre a quantidade anual total de calor que o equipamento pode remover do ar interno quando operado para resfriamento no modo ativo e a quantidade anual total de energia consumida pelo equipamento durante o mesmo período, conforme definição da norma técnica ISO 16358-1:2013. As tabelas 2A e 2B foram extraídas da Portaria Inmetro nº 269, de 22 de junho de 2021, a primeira aumenta o nível de classificação e a segunda impõe metas mais audaciosas para os fabricantes de ar-condicionado.

Tabela 2A. Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo Split (válida a partir de 01 de janeiro de 2023).

Tabela 2 - Dados da Portaria Inmetro nº 269, de 22 de junho de 2021.

CONDICIONADORES DE AR SPLIT (com prazo de adequação para fabricação e importação até 31/12/2022)		CONDICIONADORES DE AR SPLIT (com prazo de adequação para fabricação e importação até 31/12/2025)	
CLASSES	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal – IDRS (Wh/Wh)	CLASSES	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal – IDRS (Wh/Wh)
A	≥ 5,50	A	≥ 7,00
B	≥ 5,00	B	≥ 6,00
C	≥ 4,50	C	≥ 5,30
D	≥ 4,00	D	≥ 4,60
E	≥ 3,50	E	≥ 3,90
F	≥ 3,14	F	≥ 3,50

Fonte: Portaria nº 269, de 22 de junho de 2021.

Na prática, equipamentos que não são inverter, ou seja, não possuem rotação variável não poderão ser importados, fabricados e naturalmente vendidos no país, extinguindo assim equipamentos que operam em velocidade fixa a 60 Hertz e que entregam a plena carga quando em operação. A potência é baseada na nova classificação usando o Índice de Desempenho de Refrigeração Sazonal, o IDRS. Para o Split Inverter Eco Swing Smart Gold de 9.000 BTU/h com fluido R-32 DAIKIN, com etiqueta evidenciada ao lado. Consumo anual de energia 262,6 kWh/ano e IDRS de 8,3.

Para encontrar o valor unitário da potência do Split inverter basta dividir o consumo elétrico anual informado na etiqueta do produto pelo número de horas anual usado no

método de cálculo do IDRS que no caso é de 2.080 horas conforme Anexo A, tabela A.1 da Portaria nº 269 de 2021 do INMETRO. A DAIKIN Ar-Condicionado Brasil LTDA, nesse quesito de economia de energia, saiu na frente, com todos os aparelhos acima de 6,1 de IDRS.

Figura 5 - Etiqueta Split de 9.000 BTU/h DAIKIN.



Fonte: Site Oficial da DAIKIN Brasil.

$$\text{Potência} = \frac{\text{consumo anual}}{(\text{total de horas anual})} \quad (4)$$

$$\text{Potência} = \frac{262,6}{2080} \quad (4)$$

$$\text{Potência} = 0,12625 \text{ kW ou } 126,25 \text{ Watts} \quad (4)$$

A equação quatro calcula a potência em carga parcial, onde diminuiu de 660 Watts em velocidade fixa para 126,25 Watts quando em velocidade variável, comparando com ventiladores de teto de 130 Watts, comumente encontrado no mercado, o consumo do Split inverter DAIKIN é menor. A seguir são apresentados os cálculos considerando R\$ 0,656 por kWh.

$$\text{Consumo hora} = \left(\frac{\text{Potência}}{1000} \right) \times \text{Valor do kWh} \quad (5)$$

$$\text{Consumo hora} = \left(\frac{126,25}{1000} \right) \times 0,656 \quad (5)$$

$$\text{Consumo hora} = 0,08282 \text{ reais hora} \quad (5)$$

$$\text{Consumo mensal} = \text{valor de uma hora} \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (6)$$

$$\text{Consumo mensal} = \text{R\$ } 0,08282 \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (6)$$

$$\text{Consumo mensal} = \text{R\$ } 19,88 \quad (6)$$

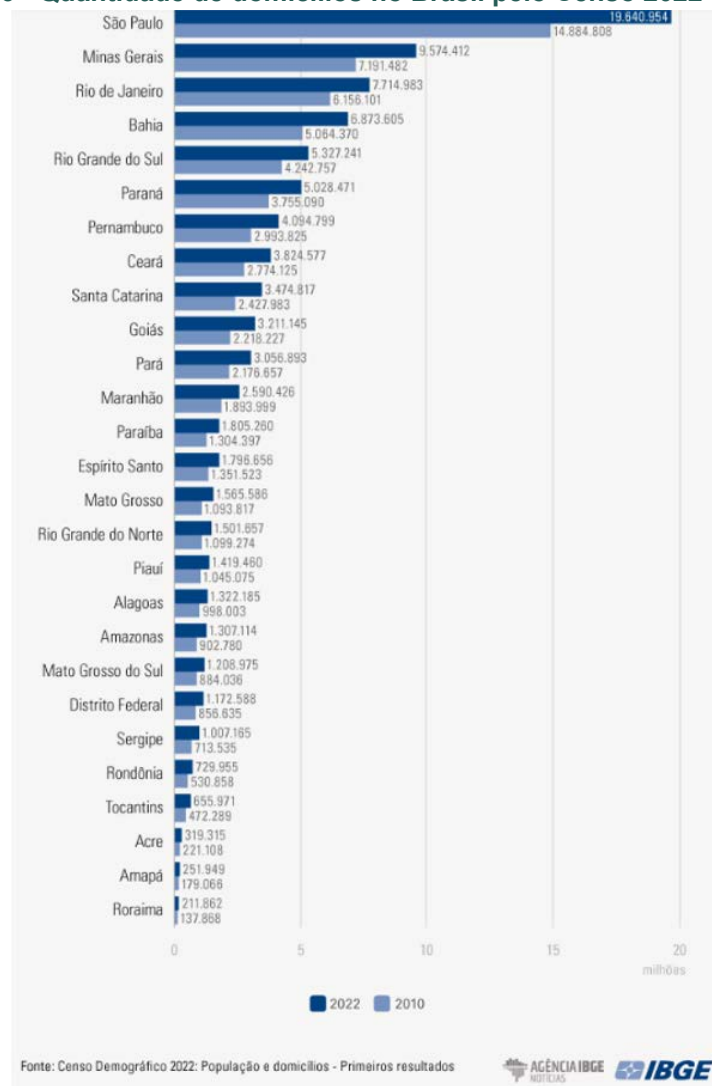
Com isso, o IDRS (Wh/Wh) substitui o CEE. Observa-se que com os mesmos parâmetros a conta de mensal sai de R\$ 103,60 (equação dois) para R\$ 19,88.

É importante destacar que a potência calculada na equação quatro, de 126,25 Watts, trata-se de uma potência média adotada, pois, na prática, a potência elétrica anual de 262,6 kWh/ano é um cálculo complexo medido no ensaio realizado pelo INMETRO é fundamentado na norma técnica ISO 60335-2-40 e considera a distribuição de bins de temperaturas e horas de operação por temperatura, conforme tabela A.1 do Anexo "A" da Portaria 269, logo, caso o ambiente tenha a necessidade de atender uma demanda térmica alta, os valores de potências naturalmente serão maiores em horários específicos.

DADOS DO IBGE

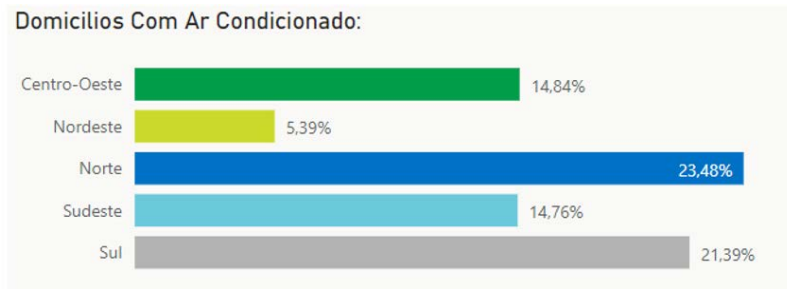
Censo 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, informa a quantidade de domicílios por Estado no Brasil.

Figura 6 - Quantidade de domicílios no Brasil pelo Censo 2022 do IBGE.



Fonte: Agências de Notícias do IBGE, acesso em 02 de novembro de 2023.

Para que seja possível mensurar o quanto o Split inverter impacta o consumo energético, considere como referência a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Eletrodomésticos na Classe Residencial, da Eletrobrás:

Figura 7 - Porcentagem de domicílios com ar-condicionado.

Fonte: Eletrobrás, 2019 [disponível em <[https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx, ar condicionado](https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx,ar%20condicionado)>. Acesso em 02 de novembro de 2023].

Relacionando as duas últimas imagens e de acordo com a metodologia aplicada, é obtido o total de equipamentos nas residências, a tabela 5 por sua vez informa a porcentagem de Splits Inverters e Splits fixo:

Tabela 4 - Quantidade de domicílios com ar-condicionado no Brasil.

Região	Domicílios por região	Domicílios com ar condicionado (%)	Quantidade de domicílios com ar
CENTRO-OESTE	5.985.706,00	14,84	888.278,77
NORDESTE	24.439.134,00	5,39	1.317.269,32
NORTE	6.533.059,00	23,48	1.533.962,25
SULDESTE	38.727.005,00	14,76	5.716.105,94
SUL	13.830.529,00	21,39	2.958.350,15
TOTAL			12.413.966,44

Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 - Equipamentos residenciais no Brasil.

Região	Equipamento disponível nas residências					
	SPLIT FIXO	SPLIT INVERTER	PORTÁTIL	ACJ	OUTROS	TOTAL (%)
CENTRO-OESTE	76,86	7,85	2,69	12,52	0,07	100,0
NORDESTE	78,33	10,48	2,75	8,06	0,37	100,0
NORTE	67,87	2,23	2,08	27,35	0,48	100,0
SUDESTE	57,08	3,86	6	32,78	0,28	100,0
SUL	51,74	22,64	7,55	15,57	2,49	100,0

Fonte: (Eletrobrás, 2019).

Para análise, foram considerados apenas os Split fixo e Split inverter.

Relação de Splits inverters:

Tabela 6 - Quantidade de Splits inverters por região.

REGIÃO	Quantidade de domicílios	Porcentagem de domicílios que possuem inverter	Quantidade com <i>Split</i> inverter
CENTRO-OESTE	888.278,77	7,85	69.729,88
NORDESTE	1.317.269,32	10,48	138.049,83
NORTE	1.533.962,25	2,23	34.207,36
SULDESTE	5.716.105,94	3,86	220.641,69
SUL	2.958.350,15	22,64	669.770,47
TOTAL	12.413.966,44		1.132.399,23
Porcentagem de <i>Splits</i> inverters (%)		9,12	

Fonte: Próprio autor

Interpretando a tabela 6, apenas 9,12 % das residências estão com ar-condicionado inverter.

Tabela 7 - Quantidade de domicílios com ar-condicionado Split Fixo.

REGIÃO	Quantidade de domicílios	Porcentagem de domicílios que possuem ar fixo	Quantidade com <i>Split</i> Fixo
CENTRO-OESTE	888.278,77	76,86	682.731,06
NORDESTE	1.317.269,32	78,33	1.031.817,06
NORTE	1.533.962,25	67,87	1.041.100,18
SULDESTE	5.716.105,94	57,08	3.262.753,27
SUL	2.958.350,15	51,74	1.530.650,37
TOTAL	12.413.966,44		7.549.051,94
Porcentagem de <i>Splits</i> fixos (%)		60,81	

Fonte: Próprio autor.

Para fins de cálculos básicos, adotando-se que cada residência possui apenas um Split de 9.000 Btu/h com potência elétrica de 660 Watts (0,660 kW) do mesmo exemplo abordado no conceito de velocidade fixa, considerando o mesmo valor de R\$ 0,656 centavos de reais por kW, o consumo de potência unitária total a nível Brasil de:

$$\text{Potência total hora} = \text{Quantidade splits fixos} \times \text{Potência unitária} \quad (7)$$

$$\text{Potência total hora} = 7.549.051,94 \times 0,660 \text{ kWh} \quad (7)$$

$$\text{Potência total hora} = 4.982.374,28 \text{ kWh} \quad (7)$$

$$\text{Potência total hora} = 4,98 \text{ GWh} \quad (7)$$

Conforme metodologia aplicada, a quantidade de equipamentos considerada é equivalente à quantidade de domicílios, adotando com base que cada residência possuiria apenas um Split (Split modelo).

Consumo total hora em reais:

$$\text{Consumo hora} = \text{Potência total} \times \text{Valor do kWh} \quad (8)$$

$$\text{Consumo hora} = 4.982.374,28 \times 0.656 \quad (8)$$

$$\text{Consumo hora} = 3.268.437,53 \text{ reais hora} \quad (8)$$

$$\text{Consumo} = 3 \text{ milhões}, 268 \text{ mil}, 437 \text{ reais e } 53 \text{ centavos hora} \quad (8)$$

Com uso diário de 8 horas e considerando o mês com 30, abaixo é cálculo o consumo mensal:

$$\text{Consumo mensal} = \text{valor de uma hora} \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (9)$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 3.268.437,53 \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (9)$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 784.425.006,52 \quad (9)$$

$$\text{Mensal} = 784 \text{ milhões}, 425 \text{ mil}, 006 \text{ reais e } 52 \text{ centavos} \quad (9)$$

Substituindo todos os Splits fixos por inversers, esse mesmo aparelho teria de acordo com IDRS um consumo estimado em 126,25 Watts (0,12625 kW), logo:

$$\text{Potência total hora} = \text{Quantidade splits fixos} \times \text{Potência unitária} \quad (10)$$

$$\text{Potência total hora} = 7.549.051,94 \times 0,12625 \text{ kW}$$

$$\text{Potência total hora} = 953.067,81 \text{ kWh}$$

$$\text{Potência total hora} = 0,95 \text{ GWh}$$

Consumo total hora em reais:

$$\text{Consumo hora} = \text{Potência total} \times \text{Valor do kWh} \quad (11)$$

$$\text{Consumo hora} = 953.067,81 \times 0.656$$

$$\text{Consumo hora} = 625.212,48 \text{ reais hora}$$

$$\text{Consumo hora} = 625 \text{ mil}, 212 \text{ reais e } 48 \text{ centavos hora}$$

Novo consumo mensal:

$$\text{Consumo mensal} = \text{valor de uma hora} \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} \quad (12)$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 625.212,48 \times 8 \text{ horas} \times 30 \text{ dias}$$

$$\text{Consumo mensal} = R\$ 150.050.995,57$$

$$\text{Mensal} = 150 \text{ milhões}, 050 \text{ mil}, 995 \text{ reais e } 57 \text{ centavos}$$

Em números redondos, o novo modelo de classificação IDRS, beneficiaria o Brasil sair de uma conta média mensal de R\$ 784 milhões para R\$ 150 milhões de reais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na metodologia aplicada, os dados apresentados estão em baseados em uma condição mínima de operação a nível Brasil, pois foi considerado que todos os equipamentos seriam de 9.000 BTU/h com potência de 660 Watts conforme o Split modelo.

Na prática, seria inviável realizar todo levantamento completo de todas as residências que possuem ar condicionado do tipo Split fixo e inverter, quantos condicionadores cada residência possui e quais suas capacidades e potências, haja vista que cada um tem suas peculiaridades. Portanto, com essa observação, é notório destacar que os valores totais de potência consumida seriam bem maiores devido à existência, na realidade, de unidades com diferentes modelos, capacidades e potências. Segundo a Portaria Inmetro nº 269 de 2021 no 1º parágrafo do 3º artigo, escreve: “Aplica-se o presente Regulamento ao condicionador de ar tipo monobloco, de janela ou de parede de corpo único, e ao tipo split system, com capacidade de refrigeração até 17,58 kW (60.000 BTU/h)”. De acordo com o Anuário Energético por Municípios do Estado de São Paulo de Energia Elétrica 2023, com ano base de 2022, página 25 de 125, a cidade de Iporanga/SP consumiu um total de 3.955.551 kWh. Considerando que os Splits fixos consomem 4.982.374,28 kWh (equação sete), a substituição desses por Splits inverters da classe residencial possibilitaria atender a demanda da cidade de Iporanga, sobrando 1.026.823,28 kWh, o que seria suficiente para operar a mesma quantidade de Splits que foram substituídos, conforme a equação dez, com uma potência de 953.067,81 kWh.

Substituindo todos os aparelhos de ar-condicionado fixos por modelos inverters, a redução média mensal a nível Brasil, seria de 4,96 GWh para 0,95 GWh, ou seja, redução de 4/5 na demanda de energia elétrica e, na redução da conta de energia. Com essa demonstração, é perceptível enxergar os benefícios da evolução da eletrônica de potência e suas aplicações em diversos setores. Tomando apenas como exemplo um segmento voltado para climatização residencial, é satisfatório observar os resultados obtidos com os novos equipamentos e o envolvimento dos órgãos governamentais, entidades e fabricantes na busca de novas soluções com dispositivos inteligentes. É importante nota que, na pesquisa, não foram incluídos sistemas comerciais e industriais trifásicos, e, portanto, os valores e resultados poderiam ser consideravelmente maiores.

Para mitigar os mitos, incentivar o uso consciente e educar o público de modo geral, os fabricantes têm buscado difundir o conhecimento sobre seus produtos, realizando palestras e encontros com diversas áreas do setor, como instaladores, mantenedores, projetistas, engenheiros, arquitetos e clientes. O objetivo é promover a venda, instalação e aplicação dos novos produtos inverters, em consonância com as novas diretrizes e leis estabelecidas para vendas de novos equipamentos, com o novo programa de etiquetagem brasileira. Esse programa está avançando rapidamente, estabelecendo metas agressivas para a eliminação de equipamentos e máquinas que não incorporam um controle inteligente em sua lógica de operação. Isso é especialmente relevante em um mundo que está cada vez mais preocupado com a escassez de fontes de energia e o uso sustentável das delas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Portaria nº 410, de 16 de agosto de 2013. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Portaria nº 269, de 22 de junho de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.

DAIKIN Brasil. **Split EcoSwing Smart Gold R-32. 2023**. Disponível em: <https://www.daikin.com.br/produto/split-ecoswing-smart-gold-r-32>. Acesso em 02 de novembro de 2023.

ELETROBRÁS [Centrais Elétricas Brasileiras]. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**: ano-base 2019, classe residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2019.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Nota Técnica EPE 030/2018. Brasília: EPE, 2018.

IBGE. **[Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]**. Censo 2022: De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5 % e chega a 203,1 milhões. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37238-pais-tem-90-milhoes-de-domicilios-34-a-mais-que-em-2010>> . Acesso em 02 de novembro de 2023.

SÃO PAULO. **Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística**. Anuário de Energéticos por Municípios no Estado de São Paulo 2023 – ano base 2022. SEMIL, São Paulo, 2023. Citado na página 17.

XAVIER, M. D. **Eletrônica de Potência**. 8ª Edição. São Paulo, 2023.

Meio Ambiente e a “imparcialidade” do Estado: casos Mariana e Brumadinho

Environment and the “impartiality” of the State: Mariana and Brumadinho cases

João Damaceno Filho

Bacharel e licenciado pela Universidade Federal do Acre (UFC). Especialista em Ecologia e Desenvolvimento Sustentável pela Faculdade Venda Nova do Imigrante (FAVENI). Aluno do curso de direito da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

Gabriel Assis de Oliveira

Graduado em Gestão em Segurança Pública pela Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Especialista em Direito Penal e Processo Penal pela Universidade Cândido Mendes. Especialista em Direito Constitucional e Direito Administrativo pela Faculdade Focus. Aluno do curso de direito da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

RESUMO

O Brasil, com a maior parte de sua floresta ainda intacta, torna-se um dos maiores guardiões da Biodiversidade do Planeta. A conservação desta biodiversidade, representa um dos maiores desafios, em função do elevado nível de perturbações antrópicas dos ecossistemas naturais. Buscando garantir uma proteção da biodiversidade muito mais abrangente, o Brasil criou a Lei 9.605/1998, a Lei de Crimes Ambientais. Isto só foi possível, devido a problemas decorrentes da degradação ambiental ter assumido um alcance cada vez mais global, tornando premente a soma de esforços dos Estados a fim de evitá-los, impedindo também novos danos ao meio ambiente como meio de resguardar as gerações futuras. Quando medidas não são adotadas como deveriam ser, tais pretensões afetam milhares de pessoas, das presentes e futuras gerações, envolvendo tanto direitos difusos como coletivos ou individuais homogêneos, como foi o caso de Mariana e Brumadinho. Neste contexto este trabalho, objetiva dá uma ênfase sobre os dois desastres ambientais ocorridos no Estado de Minas Gerais no ano de 2015 em Mariana, e em 2019 em Brumadinho, procurando entender a inércia e parcialidade do Estado em adotar medidas mais rígidas e impor fiscalizações mais rigorosas a fim de evitar futuras tragédias ambientais.

Palavras-chave: meio ambiente; crimes ambientais; leis de crimes ambientais.



ABSTRACT

The conservation of this biodiversity represents one of the greatest challenges due to the high level of anthropogenic disturbances of natural ecosystems. Seeking to guarantee a much more comprehensive protection of biodiversity, Brazil created Law 9,605 / 1998, the Law on Environmental Crimes. This has only been possible because of problems arising from environmental degradation, which has become more and more global in scope, making the sum of the efforts of the States more urgent in order to avoid them, and also preventing further damage to the environment as a means of safeguarding future generations. When measures are not adopted as they should be, such pretensions affect thousands of people, of present and future generations, involving both diffuse rights as collective or individual homogeneous, as was the case of Mariana and Brumadinho. In this context, this objective paper gives an emphasis on the two environmental disasters that occurred in the State of Minas Gerais in the year 2015 in Mariana and in 2019 in Brumadinho, trying to understand the inertia and bias of the State in adopting stricter measures and imposing more to avoid future environmental tragedies.

Keywords: environment, environmental crimes, environmental crimes laws.

INTRODUÇÃO

O Brasil, com a maior parte de sua floresta ainda intacta, torna-se um dos maiores guardiões da Biodiversidade do Planeta. Para Viana e Pinheiro (1998, p.25) “a conservação desta biodiversidade, representa um dos maiores desafios, em função do elevado nível de perturbações antrópicas dos ecossistemas naturais”. Estas perturbações quando ocorrem, tornando-se irreparáveis, deve entrar em ação o poderio do Estado, garantindo a preservação do Meio ambiente equilibrado e sadio para as presentes e futuras gerações, conforme está tutelado na Constituição Brasileira de 1988 em seu artigo 225, caput:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (CF/88).

Nesse sentido, buscando garantir uma proteção da biodiversidade muito mais abrangente, o Brasil criou a Lei 9.605/1998, a Lei de Crimes Ambientais, que viesse prever e punir com sanções administrativas, penais e judiciais, crimes cometidos por pessoas jurídicas ou físicas, contra o Meio Ambiente. Isto só foi possível, como assevera Mazzuoli e Ayala (2012, p. 298), devido à degradação ambiental ter assumido um alcance cada vez mais global, tornando premente a soma de esforços dos Estados a fim de evitá-los e resguardar as gerações futuras.

Porém, o homem, ao raiar da luz do alvorecer do século XX, cresceu de tal forma que, a Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano (1972, p.1), declarou que: “o homem ao mesmo tempo, que é obra, também é construtor do meio ambiente que o cerca”, isto é, o homem é transformador de tudo ao seu redor.

No largar desta evolução sistêmica da humanidade, e a crescente onda de expansão do capitalismo, muito do que se viu foi uma disputa em busca do enriquecimento e geração

de riqueza por meio da utilização de vários mecanismos que evolui o meio ambiente. Uma delas a exploração de minérios que leva empreendedores a construir barreiras para estocarem resíduos poluentes do meio ambiente e da vida humana.

Estas disputas, elucida Wolkmer e Paulitsch (2011, p.216), pelos recursos naturais, aumentaram a pressão sobre os ecossistemas em todo o mundo e, em especial, sobre a sua capacidade para assegurar a continuidade do fornecimento de insumo para a vida humana. Neste caso, a Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano (1972, p.2), prevendo tais acontecimentos, recomendou que medidas e normas fossem adotadas para enfrentar tais problemas. Cabral e Zaneti Júnior (2019, p.446) vem esclarecer que quando medidas não são adotadas como deveriam ser, tais pretensões afetam milhares de pessoas, não só da presente geração, mas também as futuras, envolvendo tanto direitos difusos como coletivos ou individuais homogêneos.

Mesmo com medidas punitivas, *mas ao tudo que parece, flexíveis*, ocorrem grandes danos irreparáveis. Quando fatos como estes ocorrem, há a extinção de várias espécies importantes para o equilíbrio do ecossistema, onde nesta longa corrida, o homem não se preocupa com o problema que vai gerar ao ambiente, que é importante para sua sobrevivência e seu bem-estar, como foi o caso de Mariana e Brumadinho, (importante salientar que, nestes dois casos, não foram extintas as espécies, mas sim, vários espécimes importantes para o equilíbrio do Ecossistema local), onde vários problemas sociais para vida humana, da fauna e flora ocorreu, com estes desastres.

Neves (2018, p.8) em seu trabalho sobre barragens, afirma que mesmo antes destes desastres em Mariana e Brumadinho, outros já haviam ocorridos em anos anteriores, e com isso um alerta já havia sido dado. De acordo com o autor estes alertas ocorreram quando em 2001 houve o acidente da mineração Rio Verde, e em 2002 com diversas ocorrências de pequeno porte; em 2003, quando houve o acidente com a barragem de resíduos industriais em Cataguases, que, além dos impactos ambientais, causou o desabastecimento de aproximadamente 600 mil habitantes por quase um mês, e em 2004 com o rompimento da Barragem de Camará, na Paraíba, durante sua fase final de construção, que causou comoção nacional e em 2009, quando houve o rompimento de Algodões I, no Piauí.

Para Neves (2018, p.8), o alerta ocorreu nestes momentos, alertando para medidas mais rígidas e fiscalizações mais rigorosas que alcançassem muitos empreendimentos que viessem a ser possíveis riscos de degradação ao meio ambiente.

Porém, só após estes fatídicos danos irreparáveis, o Brasil só veio regulamentar o processo de barragens no país, em 2010 com a Lei Federal 12.334, onde estabeleceu em seu parágrafo 1º a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, bem como à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais (Lei 12.334/2010). Mesmo após esta Normatização, em 2014, “ocorreu o rompimento da Barragem B1 da Herculano Mineração, em Minas Gerais” (NEVES, 2018. p.9), e em Mariana 2015 e Brumadinho em 2019, o que tudo leva a crer, por falta de fiscalizações mais rígidas e de acordo com a lei vigente no país.

Neste sentido, este artigo visa, dar ênfase sobre os dois desastres ambientais ocorridos no Estado de Minas Gerais no ano de 2015 em Mariana, e em 2019 em Brumadinho,

procurando entender a inércia e parcialidade do Estado em adotar medidas mais rígidas e impor fiscalizações mais rigorosas a fim de evitar futuras tragédias ambientais como as já supracitadas.

CONTEXTUALIZANDO A PROBLEMÁTICA

Todo o planeta nas últimas décadas vem sofrendo grandes desastres ambientais, tantos naturais, quanto causados pelo próprio *homem*. Sua ganância em buscar riquezas, não dispensa grandes e graves problemas à vida do Ecossistema em geral, no qual este está inserido, bem como a sua própria existência.

Por mais que existam leis que regulem empreendimentos que envolva o meio ambiente, grandes problemas surgem, exigindo providências profundas do Estado, dentro de uma nova ordem jurídica, que confere uma proteção de forma diferenciada ao meio ambiente, determinando a complexidade e exigências que permeiam o próprio bem ambiental, capazes de dar respostas efetivas às demandas hodiernas da sociedade (Paulitsch, 2012, p.1632).

Nesse sentido, Freitas e Colombo (2017, p. 9) ponderam que no campo judicial, especificamente na Lei 7.347/1985, se encontra a previsão legal, que somada aos preceitos do artigo 225 da CF/88, bem como aos demais instrumentos processuais para os conflitos ambientais, contribuem para a consolidação da defesa jurisdicional e, conseqüentemente, às responsabilizações penais, administrativas e civis por danos causados ao meio ambiente. Danos esses muitas vezes irreparáveis, principalmente quando o homem explora as riquezas naturais sem a máxima preocupação em preservar o meio ambiente.

Sem essa máxima preocupação, e o entendimento da importância da preservação do meio ambiente para a vida humana, grandes desastres estão fadados a ocorrerem, ceifando milhões de vidas importantes para a manutenção e equilíbrio natural do próprio meio de vida que o ser humano esta inserido, como foi o caso dos desastres ocorridos no ano de 2015 em Mariana, e em 2019 em Brumadinho no Estado de Minas Gerais/MG , quando ocorreu o rompimento de duas barragens de minérios de ferro.

Desastres como esses, é dever do próprio Estado, fazer ser cumprido o artigo da Constituição Federal concernente ao ambiente e as leis de proteção ambiental, defendendo-a e punindo o infrator conforme está prescrito nas leis em vigor do país, devendo ser imparcial e cego para quem cometeu o crime, por mais que tenha sido involuntariamente a ação.

Casos Mariana e Brumadinho

No ano de 2015, na cidade de Mariana no Estado de Minas Gerais ocorreu o “maior desastre ambiental já registrado no Brasil, com o rompimento da barragem do Fundão, responsável pelo lançamento no meio ambiente de 34 milhões de m³ de lama, resultantes da produção de minério de ferro pela mineradora Samarco, empresa controlada pela Vale e pela britânica BHP Billiton” (BRASIL, 2015).

Ainda de acordo com o autor, foram grandes os impactos ocasionados com este

desastre. Mais de seiscentos e sessenta e três quilômetros de rios e córregos foram atingidos e quase 1500 hectares de vegetação foram comprometidos, incluindo Área de Preservação Permanente (APPs), e a enxurrada de rejeitos se espalhou pela região deixando mais de 600 famílias desabrigadas, e 19 mortes diretamente.

O laudo técnico apresentado pelo IBAMA na época, constatou que “o impacto foi tão profundo e perverso em diversos estratos ecológicos, que tornou impossível estimar a recuperação do ambiente degradado e muito menos estimar um prazo para o retorno da fauna para as áreas afetadas” (IBAMA, 2015, p.24).

A lama deixou um rastro de destruição por onde passou. Diversos distritos foram afetados e muitas vilas foram completamente encobertas pela lama. Como as medidas de contenção não foram tomadas a tempo, ou não foram executadas de modo efetivo, a lama atingiu o mar nas proximidades do Estado do Espírito Santo (LEMOS e SOLTER, 2016).

No entendimento de Wedy (2019), pouco se aprendeu com os desastres ocorridos nos anos anteriores, o que ficou bem evidente com a nova tragédia ocorrida em Brumadinho em 2019. Nas palavras do autor: “três anos se passaram da Tragédia de Mariana e parece que pouco ou nada se aprendeu em matéria de gestão de riscos ou de educação ambiental em relação à atividade de mineração, em especial a observância dos princípios constitucionais da precaução e da prevenção, consagrados em nosso sistema jurídico”. Silva (2019) retrata o ocorrido e a proporção do desastre:

[...] a tragédia foi com a barragem da mina Córrego do Feijão, na sexta-feira, dia 25 de janeiro de 2019. A lama varreu a comunidade local, e até as 18h do sábado (26), haviam sido confirmados 34 mortos e 299 desaparecidos, segundo Corpo de Bombeiros de Minas Gerais. Apesar de um volume menor de rejeitos, o número de mortes anunciados para Brumadinho/MG já superam as mortes da tragédia de Mariana/MG. No que tange aos danos à fauna, flora, estes ainda são incalculáveis (SILVA, 2019).

Nascimento (2019), conclui que 246 vítimas já tiveram as identidades confirmadas e ainda faltam 23 pessoas a serem encontradas, isto cinco meses após a tragédia.

Após o ocorrido e diante da alarmante situação, fica claro a ineficácia dos agentes a frente do governo, levando o Estado a tornar-se inerte frente a graves situações que este país vem passando nos últimos anos com perdas irreparáveis para o condicionamento da vida no planeta, mesmo tendo previsto em sua lei maior e em outros dispositivos legais a preservação deste bem precioso para esta e as futuras gerações.

A EFICÁCIA DA LEI

A Lei de Crimes Ambientais, Lei 9.605/1998 traz em seu art. 2º, uma forma muito abrangente de aplicabilidade das penas previstas para crimes ambientais, *in verbis*:

Quem, de qualquer forma, concorre para a prática dos crimes previstos nesta lei, incide nas penas a estes cominadas, na medida da sua culpabilidade, bem como o diretor, o administrador, o membro de conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la (Lei 9.605/1998).

Neste dispositivo, observa-se a amplitude da aplicabilidade da lei, como passíveis

de punição o diretor, o administrador, o membro de conselho e de órgão técnico, o auditor, o gerente, o preposto ou mandatário de pessoa jurídica, caso venham a se omitir diante de prática criminosa. O artigo 3º da Lei 9.605/1998 traz a responsabilização penal de pessoas jurídicas (vale salientar que, a empresa Samarco, responsável pelos dois desastres é uma pessoa jurídica), sem prejuízo da responsabilização das pessoas naturais que tomarem quaisquer decisões que venham a lesionar ao meio ambiente, sem excluir a responsabilidade das pessoas físicas, como está endossado no parágrafo único deste dispositivo.

Ainda no entendimento do Ordenamento Jurídico, nestes dois casos, dever-se-ia ser aplicado todo o artigo 54, principalmente o § 2º, incisos I, II e III da Lei de Crimes Ambientais, que versa especificamente sobre crimes de poluição contra o meio ambiente:

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Pena – reclusão, de um a quatro anos, e multa. § 2º Se o crime: I – tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana; II – causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause danos diretos à saúde da população; III – causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade; IV – dificultar ou impedir o uso público das praias; V – ocorrer por lançamento de resíduos sólidos líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos: Pena – reclusão, de um a cinco anos. (Lei 9.605/1998)

Verifica-se aqui, que nos casos de Mariana e Brumadinho houve justamente o que os incisos I, II e III vem prevendo. Neste caso, todo este dispositivo é bastante conciso quanto a punição que deveria ser aplicada.

É notório o § 3º do Art. 54 da lei de crimes ambientais, quanto as punições referente ao grave crime ambiental cometido, sem excluir quem quer que seja da responsabilidade do dano, ainda mais se for irreversível:

§ 3º Incorre nas mesmas penas previstas no parágrafo anterior quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível. (Lei 9.605/1998).

Para punição mais rigorosa vem todo artigo 22 da mesma lei que versa a suspensão das atividades para a pessoa jurídica que lesione o meio ambiente:

Art. 22. As penas restritivas de direitos da pessoa jurídica são: I – suspensão parcial ou total de atividades; II – interdição temporária de estabelecimento, obra ou atividade; III – proibição de contratar com o Poder Público, bem como dele obter subsídios, subvenções ou doações. § 1º A suspensão de atividades será aplicada quando estas não estiverem obedecendo às disposições legais ou regulamentares, relativas à proteção do meio ambiente. § 2º A interdição será aplicada quando o estabelecimento, obra ou atividade estiver funcionando sem a devida autorização, ou em desacordo com a concedida, ou com violação de disposição legal ou regulamentar. § 3º A proibição de contratar com o Poder Público e dele obter subsídios, subvenções ou doações não poderá exceder o prazo de dez anos (Lei 9.605/1998).

Por tais razões, vê-se que a lei dos crimes ambientais, vigente desde 1998, possui normas suficientes para a repressão aos danos ambientais, de forma a fomentar uma “cultura” de prevenção à prática de tais infrações, tal como preconiza, aliás, o artigo 225 da Constituição Federal. Entretanto, por que isso não ocorreu antes das tragédias de Mariana e Brumadinho? Haja visto que há anos vem ocorrendo graves destruição da natureza em prol do poderio econômico. E porque medidas mais enérgicas não foram adotadas mediante a

esses terrores ecológicos? É evidente que existe leis que são o carrasco e juiz dos crimes cometidos contra a natureza, mas porque não são eficazes? Porque o Estado parece Inerte frente a horrendo fatos ambientais?

Uma das possíveis respostas está na diferença entre vigência e eficácia das normas, o que será ampliado no item seguinte.

Vigência versus Eficácia das Normas Jurídicas

O Estado, ao editar uma norma jurídica, fica especificado que esta servirá de guia de conduta para a sociedade. Assim, toda norma jurídica tem sua eficácia no Direito no sentido do dever- ser. Ou seja no sentido que a norma deverá ser cumprida. Santos (2005 p.111) traz uma definição do que seria uma norma jurídica: “Norma jurídica, é uma prescrição. São os documentos prescritivos do direito. Implicam o dever-ser em estado potencial, lançado para um futuro que pode ocorrer”, ou seja, de acordo com a autora a norma jurídica, torna-se real quando o fato torna-se factício. Para que a norma tenha validade é necessária que esta tenha vigência e seja eficaz.

Quanto a vigência de uma norma, Carvalho (2009) vem esclarece:

“Vigência é a qualidade da norma jurídica, que está apta a produzir efeitos no mundo do direito. É adquirida após o decurso do prazo da *vacatio legis* e se estende integralmente até o momento em que é revogada, ou em que se esgota o prazo prescrito para sua duração, quando passa, então, a apresentar tal característica parcialmente até que se esgotem todas as possibilidades de sua aplicação” (p.560)

De acordo com a autora verifica- se que a vigência de uma noma é decorrente de certas nomas poderem propagar efeitos jurídicos. Ou seja, a vigência da norma entrará em vigor quando fim do prazo estabelecido para que adquira status de lei, quando então passa a vigorá com todo efeito até que seja revogada.

Porém, Carvalho relembra que nem toda norma jurídica é vigente e isto decorre justamente quando a norma possuir duas característica:

“As normas jurídicas não têm vigência: (i) ou porque ainda não a adquiriram; (ii) ou porque já a perderam. Durante a *vacatio legis* a norma é válida, porque existe juridicamente, mas ainda não é vigente. Decorrido o lapso temporal da *vacatio legis*, a norma adquire a força que lhe é própria para regular condutas intersubjetivas, passando a ter a qualificação de norma vigente” (p.613-614).

O que não é o caso das nossas lei de Crimes Ambientais. Pelo contrario, a Lei 9.605/98 esta ainda em uso e plenamente em vigor. Resta- nos saber se esta tem eficacia juridicamente, e para isto de forma simples, Carvalho também explica:

“Eficácia refere-se à produção de efeitos normativos, pode ser dividida em três espécies: (i) eficácia técnica que é a característica da norma jurídica que apresenta todas as condições para ser aplicada, ou executada; (ii) eficácia jurídica – em sentido estrito – é a qualidade do fato jurídico de produzir os efeitos que lhe são próprios, devido à causalidade intra-normativa, em decorrência da aplicação de normas jurídicas; e – em sentido amplo – o predicativo atribuído à norma aplicada; (iii) eficácia social é a propriedade da norma jurídica de desencadear efeitos sociais, observada quando do seu cumprimento reiterado pelos membros da coletividade (p.560).

Para a autora a “palavra eficácia, no âmbito jurídico, está relacionada à produção de efeitos normativos” (p.615). Ou seja, logo que a norma entra em vigência logo após o

vacatio legis, esta já passa a ter seus efeitos e já pode ser aplicada.

Porem a autora chama para o alerta que Vigência e eficácia de um norma, não devem se confundir. “Uma coisa é a norma estar apta a produzir as consequências que lhe são próprias, outra coisa é a produção destas consequências” (p. 615).

Neste interim, prepondera-se que todas as Leis existentes no Brasil, principalmente as relacionadas ao meio ambiente tem suas eficácia prevista na norma, sem desmerecimento das demais. Ou seja os dispositivos que regulamentam e tipificam as condutas sobre o meio ambiente tem sua vigência e sua eficácia em vigor, só restando aos aplicadores destas normas, valê-se destas para que sejam aplicadas com o rigor descrito em seus dispositivos.

Sendo assim, fica evidente que as leis brasileira, todas tem suas vigência em vigor e são eficazes para que sejam aplicadas de acordo com as normas. Porem se faz necessário cumprir as medidas mais rigorosas quando se trata do Meio ambiente, principalmente quando ocorre desastres ambientais decorrentes da antropização humana.

A leitura jurídica dos desastres ambientes ocorridos em Mariana e Brumadinho

Para o caso da tragédia de Mariana, uma ação civil publica foi impetrada contra a empresa responsável pela Barragem que veio ocasionar o maior desastre ambiental da historia brasileira. Porém, o Supremo Tribunal de Justiça, julgou Jurisprudente divergências processuais a respeito da competência das ações, levantado pela empresa Samarco, na ação movida pelo Ministério Público, por ocasião da tragédia de Mariana, e que de acordo com Casemiro (2019), “ainda permanece incólume o reconhecimento da necessidade de responsabilização da mineradora diante de danos de tal magnitude impostos ao meio ambiente”, jurisprudência in verbis:

PROCESSUAL CIVIL. CONFLITO POSITIVO DE COMPETÊNCIA. AÇÕES CIVIS PÚBLICAS AFORADAS NO JUÍZO ESTADUAL E NA JUSTIÇA FEDERAL DE GOVERNADOR VALADARES/MG. ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA/MG. FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL. DANOS SOCIOAMBIENTAIS. RIO DOCE. BEM PÚBLICO PERTENCENTE À UNIÃO. COMPETÊNCIA DA JUSTIÇA FEDERAL. FORO COMPETENTE. SITUAÇÃO DE MULTICONFLITUOSIDADE. IMPACTOS REGIONAIS E NACIONAL. CÔNEXÃO ENTRE AS AÇÕES CIVIS PÚBLICAS OBJETO DO CONFLITO E OUTRAS QUE TRAMITAM NA 12ª VARA FEDERAL DE BELO HORIZONTE/MG. PREVENÇÃO. APLICAÇÃO DA REGRA ESTABELECIDADA NA LEI DE AÇÃO CIVIL PÚBLICA. (STJ - CC: 144922 MG 2015/0327858-8, Relator: Ministra DÍVA MALERBI (DESEMBARGADORA CONVOCADA TRF 3ª REGIÃO), Data de Julgamento: 22/06/2016, S1 - PRIMEIRA SEÇÃO, Data de Publicação: DJe 09/08/2016).

Para o Supremo Tribunal de Justiça de acordo com Mendonça (2019), apenas a pessoa jurídica seria responsabilizada caso também a pessoa física que agisse em seu nome também recebesse as devidas sanções. Neste caso, para o autor entraria na seara da dupla imputação, que é quando se entende que a pessoa jurídica não cometeu o crime, mas as pessoas físicas que estão a frente da pessoa jurídica (no caso de empresas), que praticaram os atos ilícitos:

[...] o Supremo Tribunal Justiça condicionava a possibilidade de responsabilizar criminalmente uma pessoa jurídica pela prática de crime ambiental se o mesmo fato pudesse ser imputado a uma pessoa física que agia em seu nome. Trata-se da teoria da dupla imputação. Se prescindíssemos da imputação do resultado a uma pessoa física, abríamos as portas para a responsabilidade penal objetiva em relação à pessoa jurídica. Basta que um resultado lesivo ao meio ambiente ocorra no contexto das atividades corporativas para que se possa responsabilizar a empresa (MENDONÇA, 2019).

Contudo, a Suprema Corte decidiu em julgamento em sessão plenária julgando inconstitucional a decisão do STJ em favor da dupla imputação, em que pese o voto da Rel. (a) Ministra Rosa Weber, ficou estabelecido que pessoa jurídica poderá ser responsabilizada penalmente independente de se acusar, pelo mesmo fato, uma pessoa física que agia em seu nome (STF, 2013).

Já para o caso de Brumadinho se ainda se espera algumas medidas mais enérgicas a serem adotadas.

É importante salientar, que a Lei 9.605/1998 foi criada com o objetivo de (para) ser aplicada para a proteção ao meio-ambiente, o que a torna uma lei meramente exemplificativa, pois não há impedimento de que outras leis venham a tipificar crimes ambientais ou, de alguma forma, venha impor algum tipo de sanção administrativa, sem esquecer o próprio código penal, que também pode ser aplicado nestes casos.

Cabe aqui ainda expor o § 2º do artigo 225 da CF/88, que deixa claro que todo aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o dano ambiental degradado de acordo com as soluções técnicas exigidas pelo poder público, bem como o § 3º do mesmo artigo que ainda prever punição para as pessoas físicas e jurídicas pelos crimes ambientais cometidos, no prelo:

§ 2º Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei. § 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados (CF/88).

Frente a estes argumentos, cabe vários questionamentos que certamente ficará sem resposta. Por que o Estado ainda não revogou a permissão da empresa causadora do dano ambiental? Nos dois casos, de suas atividades no país, como prever a Constituição Federal e as leis pertinentes? Seria por motivo de ser uma empresa de grande porte gerador de produção e desenvolvimento do país? Porque mesmo após tantos desastres, visto deste outrora, a fiscalização do Estado continua branda.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo que foi exposto fica claro a inércia e a Parcialidade do Estado frente aos desastres ora apresentados. Não obstante, fica evidente que mesmo com as punições prevista, ainda se torna impune o crime cometido pelas empresas mineradoras responsáveis pelos dois desastres no Estado de Minas Gerais, onde foram ceifadas, vidas animais e vegetais e também humanas, que juntas formam milhões de vidas destruídas.

No entanto, perante as normas vigentes e eficazes do país, a não efetividade do cumprimento destas, torna-as ineficazes, para com o meio ambiente, deixando claro que o que mais vale a pena, não são as vidas que foram ceifadas, mas o desenvolvimento econômico do país. Destarte, vidas ceifadas são irrecuperáveis, contudo são formas indicadoras para evitar futuras perdas.

Para se cumprir o que se diz o Ordenamento Jurídico é preciso a efetividade da aplicação das leis, tornando o Estado um ator imparcial dentro do cumprimento das normas que rege a vida e conduta da sociedade. Caso contrário torna-se inerte e parcial, e deixa em “desuso” as leis em vigor, pelo não cumprimento a rigor como dita as próprias leis.

Esta inércia, e “imparcialidade” do Estado, Capaz (2011, p.174) nos fala que isto “acaba atuando como um escudo protetor da impunidade”. O que sem dúvida vem a ser uma barreira a mais para a impunidade para aqueles que cometem ilícitos que são abrangidos pela lei dos crimes ambientais.

Sendo assim, vislumbra-se mais tragédias como estas, menores ou maiores em proporções, se medidas mais duras e fiscalizações mais intensas e rígidas não forem adotadas. Sabe-se que a sociedade precisa-se desenvolver para sua sobrevivência, mas precisa ao mesmo tempo preservar o que lhe mantém em pé e a natureza, meio ambiente no qual esta inserido e que é parte preservado, sendo o Estado o órgão responsável imparcial pelo cumprimento desta preservação conforme é previsto em lei.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. (2015). Entenda o acidente de Mariana e suas consequências para o meio ambiente. Portal Brasil, pp. 1–3. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/entenda-o-acidente-de-mariana-e-suas-consequencias-para-o-meio-ambiente>. Acessado em 03 de Jul de 2019.
- CABRAL, Antonio do Passo; ZANETI JR., Hermes. Entidades de infraestrutura específica para a resolução de conflitos coletivos: as claims resolution facilities e sua aplicabilidade no Brasil. Revista de Processo. Val. 287. ano 44. p. 445-483. São Paulo: Ed. RT, janeiro 2019.
- CAPEZ, Fernando. Curso de Direito Penal, Parte Geral, volume I, Editora Saraiva, 2011. São Paulo. Ed.15.
- CARVALHO, Aurora Tomazini de. Teoria Geral do Direito. o Constructivismo Lógico-Semântico. PUC. São Paulo. 2009.
- CASEMIRO, Wellington. Tragédia de Mariana (MG): estudo do caso à luz do direito ambiental. Revista Ambito Juridico. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/tragedia-de-mariana-mg-estudo-do-caso-a-luz-do-direito-ambiental/>. Acessado em 04 de Julho de 2019.
- CASEMIRO, Wellington. O que a Lei de Crimes Ambientais e outros dispositivos permitem deduzir sobre o desastre de Brumadinho (MG). Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/71680/o-que-a-lei-de-crimes-ambientais-e-outros-dispositivos-permitem-deduzir-sobre-o-desastre-de-brumadinho-mg>. Acessado em 05 de jul de 2019.
- CONSTITUIÇÃO FEDERAL DO BRASIL. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acessado em 27 de junho de 2019.

FREITAS, Vladimir Passos de, COLOMBO, Silvana Raquel Brendler. Arbitragem ambiental, condições e limitações para sua utilização no âmbito do Direito brasileiro. Revista Direito Ambiental e sociedade [recurso eletrônico] / Universidade de Caxias do Sul. – Vol. 1, n. 1 (jan./jun. 2011). Educs, 2017.

IBAMA. (2015). Laudo técnico preliminar: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar_lbama.pdf. Acessado em 03 de jul de 2019.

LEI 9.605/1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acessado em 2 de jul de 2019.

LEMOS, Aline Maria da Rocha; Gabriel Andion SOLTER. O caso Samarco: uma análise jurídica-ambiental do acidente com a lama residual da mineração. 2016. Disponível em: https://jus.com.br/artigos/50218/o-caso-samarco-uma-analise-juridica-ambiental-do-acidente-com-a-lama-residual-da-mineracao#_ftn8. Acessado em 04 de Julho de 2019.

MAZZUOLI, Valério de Oliveira; AYALA, Patryck de Araújo. Cooperação internacional para a preservação do meio ambiente: o direito brasileiro e a Convenção de Aarhus. Revista Direito GV 15 São Paulo 8(1) 12, jan-jun. 2012, p. 298.

MENDONÇA, Tarcísio Maciel Chaves de. Desastre de Brumadinho: responsabilização penal e a influencia dos aspectos econômicos. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1333925/2019/03/desastre-de-brumadinho-responsabilizacao-penal-e-a-influencia-dos-aspectos-economicos/>. Acessado em 05 de Jul de 2019.

NASCIMENTO, Pablo. Bombeiros encontram corpo intacto em meio à lama de Brumadinho. Portal R7. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/bombeiros-encontram-corpo-intacto-em-meio-a-lama-de-brumadinho-04072019>. acessado em 05 de jul de 2019.

NEVES, Luiz Paniago. Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada. Pag. Brasília 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS . Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano. In: Anais Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano. Estocolmo, 6p., 1972.

PAULITSCH, Nicole da Silva. Ação Civil Pública e Defesa do Meio Ambiente: Reflexões acerca da atuação do Poder Judiciário para a proteção do meio ambiente. RIBD, Ano 1. Nº 3. 2012.

SANTOS, Mirían dos. Norma Jurídica: uma questão de linguagem. VEREDA S - Rev. Est. Ling ., Juiz de Fora, v.9 , n.1 e n.2, p .107- 121, jan./dez. 2005

SILVA, Carlos Sérgio Gurgel. Reflexões jusambientais sobre o desastre de Brumadinho/MG. Revista Jus Navigandi, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 24, n. 5690, 29 jan. 2019. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/71713>. Acessado em 05 de julho de 2019.

STF, Supremo Tribunal Federal. Noticias STF. Disponível em <http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=244969&caixaBusca>. Acessado em 05 de jul de 2019.

STJ, Superior Tribunal de Justiça - CONFLITO DE COMPETÊNCIA: CC 144922 MG 2015/0327858-8 - Rel. e Voto. Diponivel em .<https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/371630443/conflito-de-competencia-cc-144922-mg-2015-0327858-8/relatorio-e-voto-371630454?ref=juris-tabs>. Acessado em 5 de jul de 2019.

VIANA, Virgílio M.; PINHEIRO, Leandro A. F. V.. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. Série Técnica Ipef, São Paulo, v. 12, n. 32, p.25-42, dez. 1998.

WEDY, Gabriel. O rompimento da barragem de Brumadinho e a Justiça ambiental. Boletim de notícias Conjur: ambiente jurídico. Disponível em: https://www.conjur.com.br/2019-jan-26/ambiente-juridico-tragedia-brumadinho-justica-ambiental#_ftn1. Acessado em 05 de julho de 2017.

WOLKMER, Maria de Fátima Schumacher, PAULITSCH, Nicole da Silva;. Ética ambiental e crise ecológica: reflexões necessárias em busca da sustentabilidade. In: Veredas do Direito, Belo Horizonte, v.8, n.16, p.211-233, Julho/Dezembro de 2011.

Underutilized food plants in Africa and contributions to more sustainable and healthy food systems: a bibliometric review

Silmo Schüler
Patrik Gustavo Wiesel
Nilmar Azevedo de Melo
Bruno Deprá
Marcos Henrique Schroeder
Eduardo Alcayaga Lobo

ABSTRACT

For a better understanding of the theme of underutilized food plants, also known as orphans or neglected plants, on the African continent, a bibliometric analysis was carried out using the search term “underutilized food plants Africa” in the “Web of Science” database in the period between 2003 and 2022. A total of 183 publications were found, resulting in the formation of four clusters in relation to the search term: (i) agriculture; (ii) food security; (iii) nutrition; and (iv) plants. In addition, the review identified the main countries and research institutions that have developed studies on this theme. The results indicated that there are several problems that hinder the use of underutilized food plants on the African continent: (i) few studies on its cultivation and nutritional value; (ii) lack of value chain promotion; (iii) low high-level visibility; (iv) absence of conservation actions and valuation strategies; (v) identify underutilized crops useful for food security; (vi) develop the domestication of underutilized plants; (vii) promote the population’s access to nutritious and diversified food; (viii) deficiency in the promotion of food security, nutrition, health, income generation and ecosystem services; (ix) deficient public policies to mitigate poverty and malnutrition. This review aimed to provide subsidies in the search for the resolution of these problems, seeking to guarantee the use of underutilized food plants in African agriculture for future generations. Maintaining biodiversity, together with healthier and more sustainable agro-food systems, will result in greater food security in Africa.

Keywords: bibliometric analysis, biodiversity conservation, agricultural sustainability, underutilized food plants, Africa.

INTRODUCTION

Species of underutilized food plants, also called neglected, orphaned or indigenous plants, are indispensable for food and nutritional



security and can offer greater potential for income generation and ecosystem services. The increase in sustainable productivity, with the use of these plants, can promote reduction of anthropic pressure on natural resources, reduction of environmental degradation, maintenance of biodiversity, and even a decrease in the frequency of extreme weather events. Thus, to meet the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs), it is necessary to restore natural capital in the new African agro-food industries (Leakey *et al.*, 2021).

According to the United Nations Development Program (UNDP, 2022), the Sustainable Development Goals (SDGs), also known as the Global Goals, were adopted by the United Nations in 2015 as a call to end poverty, protect the planet and ensure that by 2030 all people enjoy peace and prosperity. The 17 SDGs are transversal, seeking to balance social, economic and environmental sustainability, with a commitment to prioritizing the development of less developed countries. Adopted by 193 countries in 2015, the SDGs emerged from the most inclusive and comprehensive negotiations in United Nations Foundation history (2023) and have inspired people from all sectors, geographies and cultures. Of the 17 SDGs, the following are considered: 1. No Poverty; 2. Zero Hunger; 3. Good Health and Well-Being; 8. Decent Work and Economic Growth; and 12. Responsible Consumption and Production.

Regarding food security, nutrition and maintenance of associated biodiversity, it is estimated that around 7000 species of plants were cultivated for consumption during the evolution of humanity. However, currently less than 35 species provide most of human food energy needs worldwide, for example rice, potatoes, maize and wheat (Campanaro *et al.*, 2019). The African continent is home to many native species with nutraceutical and pharmaceutical properties. In South Africa alone, it is estimated that there are more than 5000 underutilized plant species with food and medicinal attributes (Mudau *et al.*, 2022).

Compared to other continents located at the equator, the African continent is quite poor in plant biodiversity. However, many species of useful plants have been domesticated in the past from sub-Saharan African material (Van Damme, 2009), highlighting that wild vegetables are an accessible and important source of food and nutrition in rural areas (Bvenura & Afolayan, 2015). In turn, neglected and underutilized plant food resources support the diversity of traditional food systems in communities in developing countries (Smith & Longvah, 2009). Sub-Saharan Africa is among the poorest regions in the world, and malnutrition remains a major challenge, although this region is endowed with many underutilized plant species, considering that these species are rich in nutrients, mainly micronutrients (Teye *et al.*, 2020). Because they are native to the ecosystem, underutilized foods are adapted to grow in arid and semi-arid conditions and are able to fix nitrogen from the atmosphere, increasing soil fertility and resulting in more sustainable agricultural and food systems (Wright *et al.*, 2022).

Regarding bibliometric analysis, Secinaro *et al.* (2021) pointed out that it is a methodology used to collect information about a specific area of research, where intrinsic subjectivity is minimized and the method is reproducible (Corsini *et al.*, 2019; Della Corte *et al.*, 2019). According to Soares *et al.* (2016), bibliometric analysis allows the state of science to be observed through scientific production registered in a database and allows a country to be categorized in relation to the world, scientists to be categorized in relation to the scientific community and an institution to be categorized in relation to a country.

Additionally, according to Ugolini *et al.* (2015), bibliometric studies are tools used to evaluate the social and scientific aspects of a given topic, allowing the analysis of the growth, size and distribution of scientific production in the research area.

In this context, this investigation aimed to collect scientific information on the state of the art in the use of underutilized food plants on the African continent through a bibliometric analysis in the period between 2003 and 2022.

MATERIALS AND METHODS

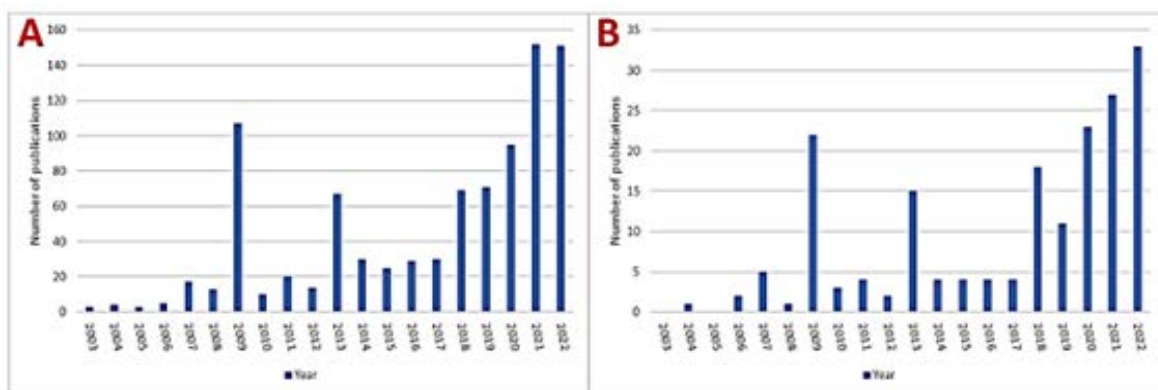
For the application of the bibliometric analysis, the terms “underutilized food plants” and “underutilized food plants Africa” were chosen because they are comprehensive and represent the theme of food and nutritional security and the maintenance of associated biodiversity. Scientific publications were selected from the “Web of Science” database between 2003 and 2022. The data obtained were analyzed using “VOSviewer” software, version 1.6.13. Bibliometric mapping was used to verify the main themes mentioned in the literature and to research the relationships between the most cited words, as well as the main countries dedicated to this field of research.

“VOSviewer” software was configured to use the co-occurrence of terms and binary counting, with a minimum of 10 occurrences of the same term; that is, the term was repeated at least 10 times in the consulted bibliographies. According to the methodology of de Souza *et al.* (2019), a minimum relevance of terms of 60% was used. The main research institutions and the volume of publications in this period were described and categorized in the different areas of comprehensive knowledge.

RESULTS AND DISCUSSION

The survey carried out with the key terms “underutilized food plants” and “underutilized food plants Africa” identified 915 and 183 publications, respectively, between the years 2003 and 2022, which represents the growing interest of the scientific community in this subject, mainly from the year 2018, with the exception, in both cases, of the year 2009 (Fig. 1A and B).

Figure 1 - A: Volume of publications between 2003 and 2022 available in the “Web of Science” database using the search term “underutilized food plants”. B: Volume of publications between 2003 and 2022 available in the “Web of Science” database using the search term “underutilized food plants Africa”.



Source: Authors (2023).

Main countries and institutions involved

The 183 publications identified in the data analysis allowed the recognition of the main areas of knowledge addressed using the term “underutilized food plants Africa”, as well as the identification of the main scientific communities and consolidated research groups (Table 1).

Several research groups stood out for the volume of scientific production during this period. The two areas of knowledge with the highest number of works were “plant sciences” and “horticulture”. The former refers to the study of plants in all their forms and interactions, with emphasis on the following institutions: North West University South Africa; Agricultural Research Council of South Africa; and University of Abomey Calavi of Benin. The latter is the area of agriculture that studies the science, technology and business of vegetable production, with emphasis on the following institutions: Alliance of Italy; Bioversity International of Italy; and Maseno University of Kenya.

The area of knowledge “environmental sciences” came in sixth place, with the following research groups standing out: Stellenbosch University of South Africa; City University of London; and Stockholm University of Sweden. The area of “biodiversity conservation” appeared in the ninth position, with emphasis on the following research groups: University of Abomey Calavi of Benin; Univ. Joseph Ki Zerbo of Burkina Faso; and Aarhus University of Denmark.

The years 2009 and 2013 showed peaks in publications due to the International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development in 2008, in Arusha Tanzania, the publication of the annals in 2009, with 21 publications, and the publication of the proceedings of the II International Symposium on Underutilized Plant Species: Crops for the Future, which was held in 2011 in Kuala Lumpur, Malaysia, in 2013, with 11 publications.

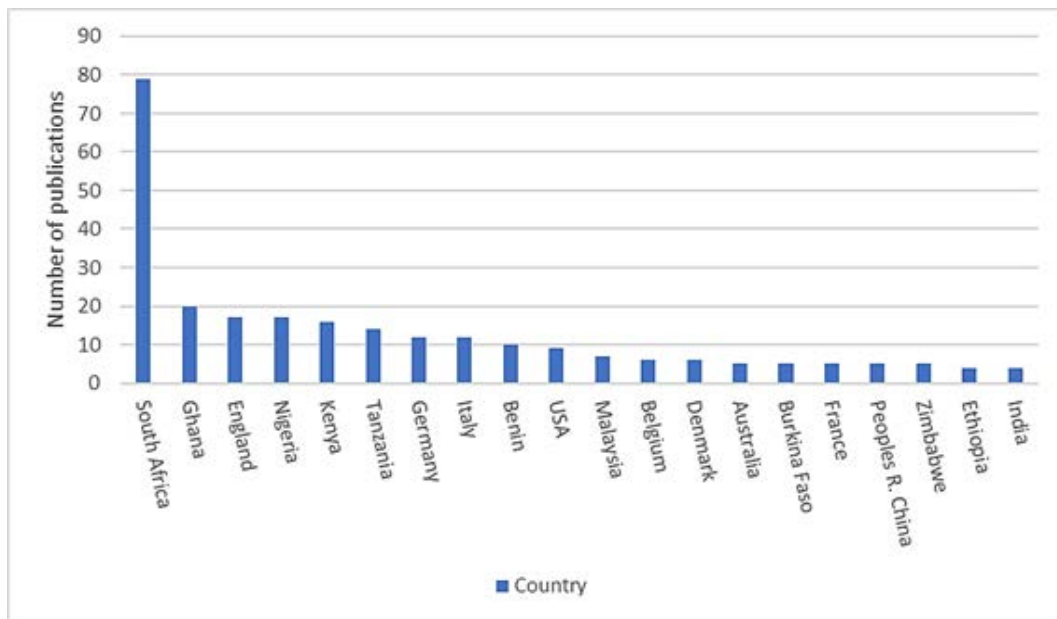
Regarding the countries with the highest volume of scientific production, research groups from South Africa stand out, with 80 publications in a period of 20 years, with an emphasis on North West University, University of Kwazulu Natal and Agricultural Research Council of South Africa, as shown in Fig. 2. Ghana stands out as the second most published country, with 20 scientific publications, and has two important study centers: Kwame Nkrumah University Science Technology and the University for Development Studies. Although these two centers are responsible for more than half of the scientific publications, they do not have significant scientific production to be among the top 10 most studied areas.

Table 1 - Main research areas related to the search term “underutilized food plants Africa”, volume of publications by research area, main research groups and total number of publications from 2003 to 2022 in the bibliometric analysis carried out in the “Web of Science” database (No. PUB: Number of publications).

Search area	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Total	Organizations involved	N° PUB
Plants Sciences	0	0	0	1	0	0	22	0	1	1	0	1	1	1	2	7	3	6	8	15	69	North West University South Africa Agricultural Research Council of South Africa University of Abomey Calavi - Benin	8 7 7
Horticulture	0	1	0	0	4	0	22	0	0	0	11	0	2	0	0	1	1	0	5	0	47	Alliance - Italy Bioversity International - Italy Maseno University - Kenya	3 3 3
Agronomy	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	13	0	1	2	0	4	1	5	5	6	39	Agricultural Research Council of South Africa University of Kwazulu Natal – South Africa North West University South Africa	6 5 4
Food Science Technology	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	2	1	1	2	5	1	5	6	7	37	North West University South Africa University of Copenhagen - Denmark University of Kwazulu Natal – S. A.	5 4 4
Nutrition Dietetics	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	2	1	2	13	Alliance - Italy Bioversity International - Italy Tshwane University of Technology	2 2 2
Environmental Sciences	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	2	8	Stellenbosch University – South Africa City University London Stockholm University - Sweden	3 2 2
Multidisciplinary Sciences	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	8	Cgiar - USA University of Pretoria – South Africa Alliance - Italy	2 2 1
Chemistry Applied	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	7	Tshwane University of Technology University of Copenhagen - Denmark Agricultural Research Council of South Africa	2 2 1
Biodiversity Conservation	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	6	University of Abomey Calavi - Benin Univ. Joseph Ki Zerbo – Burkina Faso Aarhus University - Denmark	3 2 1
Microbiology	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	6	North West University South Africa Agricultural Research Council of S. A. Consiglio Nazionale Delle Ricerche	2 1 1

Source: Authors (2023).

Figure 2 - Countries that stood out the most in number of publications using the search term “underutilized food plants Africa” based on bibliometric research on the “Web of Science” between 2003 and 2022.



Source: Authors (2023).

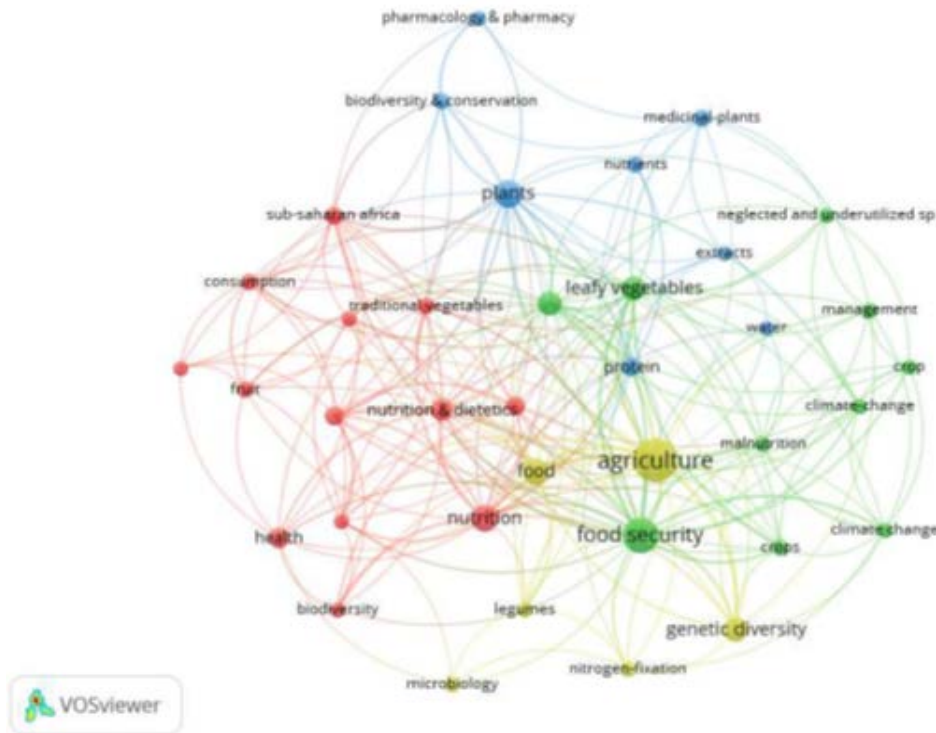
With regard to continents, Africa appears in first place with 171 scientific publications, followed by Europe with 58, Asia with 16, Americas with 10 and Oceania with 5. Among the 20 countries with the most publications, the African continent stands out with 9 countries, followed by Europe with 6, Asia with 3, America with 1 and Oceania with 1.

Search terms

The search terms used resulted in a data file that was submitted to treatment in the VOSviewer software for the construction and visualization of bibliometric networks, with the identification of four clusters, as shown in Fig. 3. The first cluster, in yellow, has four relevant terms: “agriculture”, “food”, “genetic diversity” and “nitrogen-fixation”. The term “agriculture” can be related to the term “food” by the production of food in general and its peculiarities. In turn, the terms “genetic diversity” and “nitrogen-fixation” are directly related to the natural ecosystem and the ability to provide ecosystem services linked to local biodiversity. Thus, the maintenance and balance of the ecosystem directly depend on biodiversity, while biodiversity depends on other factors, such as species composition (Wiesel *et al.*, 2021).

The second cluster, in green, highlights three relevant terms “food security”, “leafy vegetables” and “climate change”, demonstrating the importance of underutilized plants in food security, maintenance of species richness, diversity in the provision of ecosystem services, and contribution to the mitigation of climate change (Costa & Farrant, 2019). The third cluster, in red, with the terms “nutrition”, “health”, “biodiversity”, “fruits” and “traditional vegetables”, is directly associated with ecosystem services that depend on agricultural production to generate food security, representing the biodiversity of the ecosystem (Jones & Sanyang, 2009).

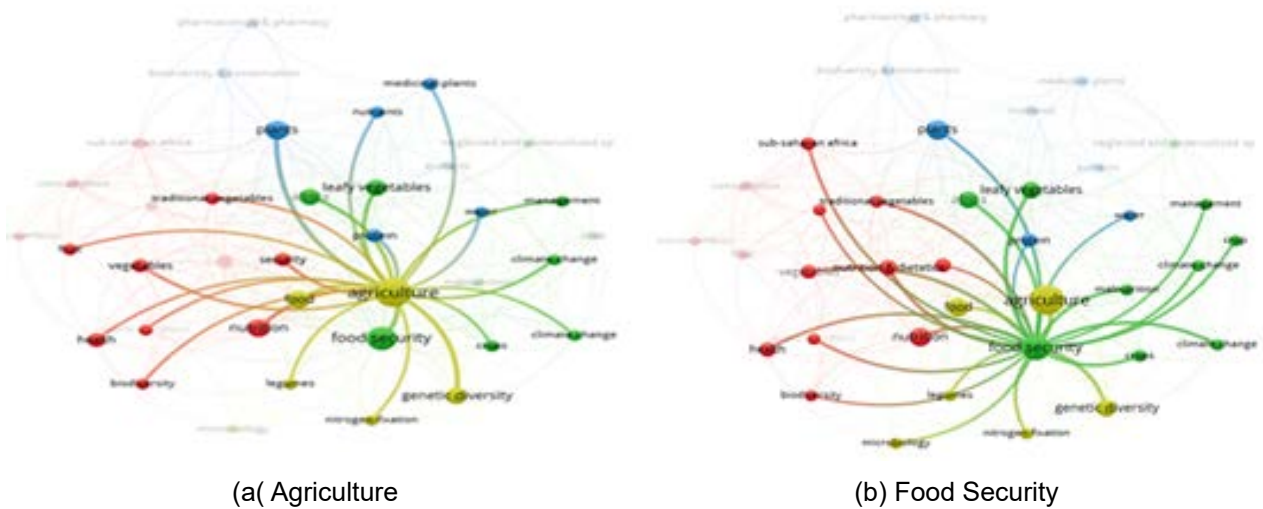
Figure 3 - Overview of the map of the main terms found by the bibliometric search in the “Web of Science” database between 2003 and 2022.

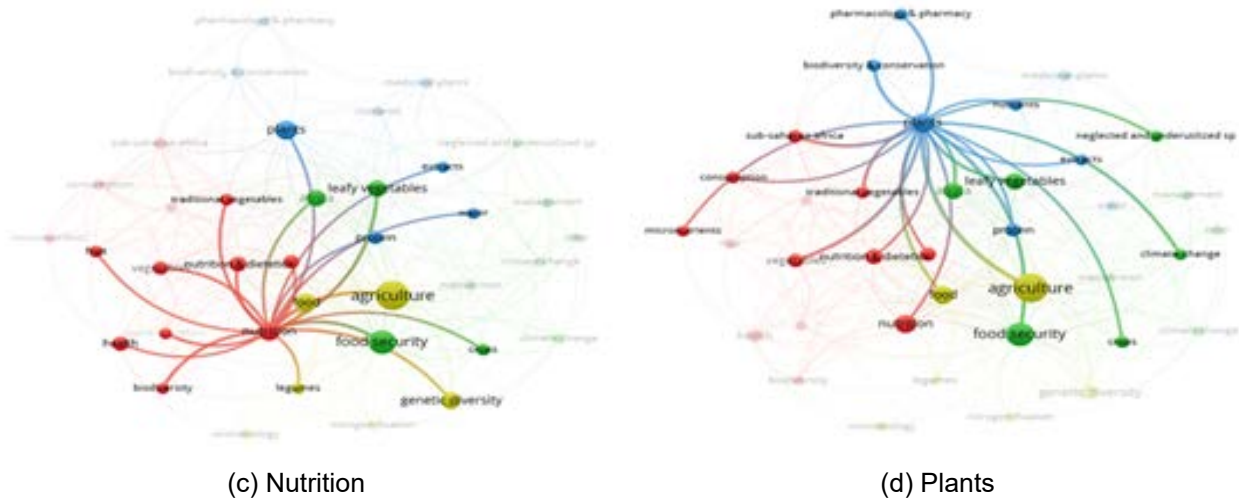


Source: Authors (2023).

The term “traditional vegetables” from cluster 3 is also added to the other three clusters, demonstrating a high degree of significance. However, in cluster 4 (plants), there is a combination with the term “neglected and underutilized sp.” and cluster 2 (food security), demonstrating the relationship between them and the importance of neglected and underutilized plants for food security (Maroyi, 2014). Fig. 4 shows the details of the four clusters formed by VOSviewer software.

Figure 4 - Highlights for the terms obtained based on bibliometric analysis: (a) “Agriculture”, (b) “Food Security”, (c) “Nutrition” and (d) “Plants”.





(c) Nutrition

(d) Plants

Source: Authors (2023).

Agriculture

“Agriculture” was the most prominent term found in the analysis, presenting a strong correlation with the term “food security”, which is a topic that is being increasingly discussed globally. According to the FAO (2022), about 690 million people in the world are hungry, and another 2 billion suffer from food insecurity. Still, other important relationships can be highlighted, such as the one established with the word “Africa”, “traditional vegetables” and “genetic diversity”. Currently, food systems have led agriculture to prioritize a small group of cash crops, while there is a very large diversity of underexplored edible plants (Vinceti *et al.*, 2022). However, in many countries, especially developing countries, food insecurity is associated with a lack of access to nutritious and diverse food. Because they are easily accessible, underutilized food plants can contribute substantially to the diversification of food, representing an efficient alternative to combating food insecurity (Kinupp *et al.*, 2021).

However, multifunctional agriculture interconnects the different roles and functions of agriculture, such as producing food and non-food products, providing environmental services, improving rural livelihoods and maintaining traditional crops and local culture (Leakey & Asaah, 2011). Thus, the use of underutilized plant species for food, nutrition, income and sustainable development aims to stop and reverse the loss of biodiversity in agricultural systems (Jones & Sanyang, 2009).

For its part, the African Orphan Crops Consortium seeks to enhance genome-enabled strategies from under-researched crops to nutritious food solutions based on biodiversity in Africa (Jamnadass *et al.*, 2020). Two of the greatest challenges facing humanity are climate change and the consequences of reduced agricultural diversity (Azam-Ali, 2007).

Staple crops and orphan crops respond to abiotic stressors, such as heat, water, high salinity and nitrogen, in the face of climate change (Costa & Farrant, 2019). Agricultural diversification with neglected and underutilized plant species is a viable alternative to sustainably increase the productivity of agrosystems (Diop *et al.*, 2018). However, current

agricultural production systems have dysfunctional side effects that degrade the associated natural resources and lead to a monotonous food supply and vitamin and mineral deficiencies that lead to hidden hunger (Bokelmann *et al.*, 2022). Poverty and food and nutrition insecurity in sub-Saharan Africa have recently become major concerns (Popoola *et al.*, 2022). Furthermore, climate change threatens food production and sustainable agriculture.

With reference to the agricultural production of vegetables using native species from southern Africa that were previously underutilized, le Breton (2009) concluded that there are opportunities to take advantage of collaboration between the public and private sectors. In addition, other stakeholders should provide incentives and encourage the domestication, commercialization and agro-processing of underutilized fruit trees in Africa (Omotayo & Aremu, 2020a).

Southern Africa has many edible fruits that can be useful in combating food and nutrition insecurity. However, many of these fruits are underutilized (van Rayne *et al.*, 2021). With regard to underutilized indigenous crop and food species in Africa, these fall into four main areas: environmental, nutritional, economical and sociocultural (Akinola *et al.*, 2020). In South Africa, there are a wide variety of neglected and underutilized crops because over the years, they have lost their status within agricultural chains and have been relegated to the status of neglected and underutilized (Mudau *et al.*, 2022).

Concerning the species and varieties of underutilized food plants, the Bambara peanut (*Vigna subterranean*) has the potential to diversify agrifood systems and contribute to increasing food and planetary sustainability, encompassing agroecology (Tan *et al.*, 2020). Bambara groundnut is a drought-tolerant legume in sub-Saharan Africa and is well adapted to marginal agricultural lands (Soumare *et al.*, 2022). Kersting groundnut (*Macrotyloma geocarpum*) is also a neglected and endangered food legume in Africa (Mohammed *et al.*, 2018). Another species of wild legume adapted to the semi-arid conditions of southern Africa is the marama bean (*Tylosema esculentum*). Its green and mature seeds are used as food by local inhabitants, and they have potential as a cultivated plant (Mosele *et al.*, 2011). As for the genus *Strychnos*, little is known about the nutritional value of the fruit components (seeds, peel and pulp), and information on seed propagation is scarce, which makes the domestication of this genus difficult (van Rayne *et al.*, 2021). Additionally, sweet sorghum has important attributes in family farming systems due to its susceptibility to agronomic and socioeconomic challenges (Motsi *et al.*, 2022). Pteridophytes are important for diversity and food security in sub-Saharan Africa, but they are neglected due to inadequate research and a lack of agricultural development (Maroyi, 2014). Still, regarding their use, indigenous vegetables are not underused but undervalued (Weinberger, 2006).

Regarding the technologies used in African agriculture, there are advantages to using genetic sequencing to identify some of the most representative neglected and underutilized species, as well as their traceability and conservation of cultural practices in their surroundings (Campanaro *et al.*, 2019). However, the reproduction of the Bambara peanut has shown significant improvement due to the genomic application of its microbiome through the integration of beneficial bacteria (Ajilogba *et al.*, 2022). The application of biostimulants in underutilized crops promotes food security and human health (Aremu *et al.*, 2022). However, knowledge of the fungal mycobiome and the main inhabitants of underutilized cereal and

legume crops is still limited (Pambuka *et al.*, 2022). However, frequent burnings to clean the fields degrade the soil, killing microorganisms and decreasing the organic matter content necessary for the good development of the plants (Schüler *et al.*, 2022).

In addition, the market for African agricultural products points out that less than 10% of traditional food species consumed by rural Kenyans reach markets in Nairobi, the country's main consumer center (Adeka *et al.*, 2009). There is also a need to promote traditional vegetables in the farming systems and diets of rural communities in central Kenya and the Rift Valley (Ndenga *et al.*, 2011). Additionally, to analyze and explore the genetic and agronomic potential of less studied crops, knowledge and resources developed in the main hegemonic crops could be used (Barnaud *et al.*, 2011). However, the development of markets for underutilized species should not compromise biodiversity conservation in production areas (Irungu *et al.*, 2006), highlighting that the commercialization of underutilized plant products in regional markets in Africa presents both challenges and opportunities for agriculture (Hellin & Higman, 2009). Furthermore, there is a need to use appropriate market-focused agricultural strategies in sub-Saharan Africa to improve food production and diversity (Conti *et al.*, 2019).

Food Security

“Food security” was the second most common term in our analysis and was directly associated with the terms “leafy vegetables”, “climate change” and “neglected underutilized sp.”. However, human population growth, combined with global environmental change, paints an increasingly dire picture of the state of global food security (Pereira *et al.*, 2019). Indicators state that the food security goals formulated in 2015 will not be achieved, including those on the African continent (Bokelmann *et al.*, 2022). A radical change in the current food system is needed to promote positive changes and to impact food security (Wright *et al.*, 2022).

However, to ensure healthy food systems on the African continent, it is necessary to recognize and make indigenous foods viable as an important resource (Akinola *et al.*, 2020), highlighting that identifying underutilized indigenous crops with useful food security characteristics is the initial part of the solution (Koch *et al.*, 2022). In sub-Saharan Africa, as countries develop, they shift to western foods, which are high in saturated fats, salt, sugar, soft drinks and sweeteners, resulting in an unbalanced diet (Fernandes *et al.*, 2021), while wild vegetables can contribute to combating micronutrient malnutrition and providing food security (Flyman & Afolayan, 2006).

Underutilized food plants have the potential to promote food security, nutrition, health, income generation and ecosystem services, contributing to human well-being (Jones & Sanyang, 2009). In the case of underutilized plant products, market access is an opportunity to contribute to environmental conservation and reduce poverty (Hellin & Higman, 2009). However, it is necessary to collect more information about the use and exploitation of wild plant species of traditional peoples on the African continent, aiming at new species for domestication and the development of crops for greater food security and income generation (Van Damme, 2009). Compared to global vegetables, traditional vegetables are an essential species for developing more nutrition-sensitive agriculture under climate change. Research

and conservation movements for plants originating in Africa have been visibly neglected (Meldrum *et al.*, 2018).

A monotonous diet, poor eating habits and micronutrient deficiencies are often associated with diseases related to dependence on monoculture (Tan *et al.*, 2020). Food insecurity and food-related diseases have detrimental effects on human health and are sustained by environmentally unsustainable and culturally disconnected food chains (Pereira *et al.*, 2022). Sustainable food systems provide people with healthy diets (Vinceti *et al.*, 2022).

However, there is a strong correlation between climate change and food security. Azam-Ali (2007) considered the reduction of agricultural diversity and the current global food and nutrition insecurity to be responsible for climate change. To decrease global warming, the domestication of underutilized fruits found in the Southern African region can be considered a sustainable solution, increasing fruit availability and food security (Ngemakwe *et al.*, 2017). Additionally, climate change, the expansion of soil salinization and the growing scarcity of fresh water are factors that negatively affect world agricultural production.

Furthermore, climate change is a contributing factor to food and nutrition insecurity, decreasing crop yields and availability (Oluwole *et al.*, 2021). Indeed, unpredictable droughts and higher temperatures in summer caused by climate change and global warming threaten food security in southern Africa (Du Toit *et al.*, 2021). In addition, drought-tolerant and nutrient-rich traditional crop species have the potential to contribute to sustainable food security and nutrition in marginal production chains threatened by climate change (Chimonyo *et al.*, 2020). In South Africa, climate change also affects the phenology, physiology and economic benefits of wild fruits and vegetables (Salami *et al.*, 2022).

Although locally essential for food security, underutilized crops do not benefit from the same research effort as traditional crops (Barnaud *et al.*, 2011). Meanwhile, rural households in southern Africa can reduce their vulnerability to income poverty and food insecurity by growing indigenous fruits (Akinnifesi *et al.*, 2009). Bambara peanuts, an underutilized crop with a high nutritional value, have great potential to contribute significantly to food security (Soumare *et al.*, 2022). Additionally, Senegalia macrostachya, a wild, underutilized perennial legume from sub-Saharan Africa, can help alleviate food insecurity in drought-prone regions (Drabo *et al.*, 2022).

The fermentation products of indigenous leafy vegetables and fruits are underutilized in Africa and can contribute to improving nutrition and food security on the continent, where there is much malnutrition and hidden hunger (Oguntoyinb *et al.*, 2016). There is already a need to increase current knowledge about Cleome gynandra, aiming to ensure food and nutritional security and the efficient use of its genetic resources (Kwarteng *et al.*, 2018). However, in drought-prone regions of West Africa, fonio, a glumaceous monocot of the genus Digitaria, plays an important role in food security and income generation (Ayanan *et al.*, 2018).

Nevertheless, in sub-Saharan Africa there are approximately 1000 neglected and underutilized species of indigenous and naturalized plants, which contribute to food diversity, food security and quality of life of populations (Towns & Shackleton, 2018). Another

underutilized staple food crop in South Africa, taro (*Colocasia esculenta*), has great potential to decrease food insecurity among rural households (Gerrano *et al.*, 2019). However, wild bean (*Pachyrhizus erosus*), a neglected and underutilized legume, needs to expand its use to contribute to food and nutritional security (Buckman *et al.*, 2018).

Due to the loss of biodiversity and the associated indigenous knowledge, the importance of traditional leafy vegetables is quite limited in food security strategies. To improve food and nutrition security, developing countries need to exploit undervalued native plants (Omotayo & Aremu, 2021). *Telfairia pedata*, a vine that grows on trees in Tanzania and Uganda, has incipient studies, despite its potential for food security, environmental conservation and commercialization (Shayo *et al.*, 2021). However, to increase the productivity of the underutilized intercropping system and ensure food security, it is necessary to find options and understand the associated benefits and trade-offs (Nassary *et al.*, 2020).

To create a new food culture that reinforces the act of eating as an ethical act, one can combine the creativity of cooks and the biodiversity of underutilized species, elevating underutilized species from undervalued to valued (Pereira *et al.*, 2019).

Nutrition

“Nutrition” was the third most common term in our analysis; it was directly associated with the terms “health” and “underutilized plant species”. The use of staple foods enriched with these plants in Africa can help reduce malnutrition and hidden hunger (Teye *et al.*, 2020). Furthermore, to meet the micronutrient demands of the local population, underutilized wild edible plant species from Ethiopia can make a significant contribution (Aragaw *et al.*, 2021).

Considering the nutritional transition in sub-Saharan Africa, women are a critical nutritional target group and suffer from discrimination in food production (Conti *et al.*, 2019). However, the consumption of native fruits and vegetables is being replaced by the consumption of highly processed and caloric foods, leading to diet-related diseases, such as diabetes and obesity (Mtenga & Ripanda, 2022).

Thus, nutritional indicators are needed for biodiversity covering the genetic resources provided by ecosystems and addressing the diversity of plants, animals and other organisms used for food (Stadlmayr *et al.*, 2011). However, restoring nutrition-sensitive forest landscapes to combat environmental degradation can contribute to ensuring the availability of nutritious tree-based foods (Vinceti *et al.*, 2022). In turn, due to stress tolerance or nutritional properties, many underutilized crops have characteristics that can be beneficial in times of climate change (Yang *et al.*, 2018). However, the associated biodiversity is essential for food diversity and health, highlighting that, at the population level, quantitative indicators of food and biological diversity can be combined with nutritional and health outcomes (Johns & Eyzaguirre, 2006).

New technologies and analyses have identified the nutritional characteristics of underutilized plants on the African continent. Techniques applied in the characterization of non-starch polysaccharides in five underutilized crops in sub-Saharan Africa have determined their nutritional characteristics (Agiriga & Siwela, 2017). Furthermore, the list of green leafy vegetables (GLVs; a total of 54 underutilized GLVs) presents the compositions in

a comparative way (Sarkar *et al.*, 2022), including the nutritional composition, polyphenolic compounds and biological activities of marula (*Sclerocarya birrea*) and its use in food applications (Mashau *et al.*, 2022).

Regarding underutilized food plant species, the genus *Strychnos* is a source of fiber, vitamin C and minerals. It can be explored as a new food source due to its high micronutrient content and medicinal potential (van Rayne *et al.*, 2021). Once incorporated into the diet, wild vegetables can significantly contribute to reducing micronutrient deficiencies (Bvenura & Afolayan, 2015). Furthermore, in sub-Saharan Africa, the fruits of the baobab tree (*Adansonia digitata*) contain large amounts of vitamin C, calcium and dietary fiber (Darr *et al.*, 2020). Moreover, underutilized species consumed in sub-Saharan Africa are an opportunity for the development of modern food products, nutraceuticals and functional foods (Djiazet *et al.*, 2022). Likewise, the underutilized plant *Eleocharis dulcis* has great potential as a new food source (Zhang *et al.*, 2022). The spider plant (*Cleome gynandra*) is already commonly used as a traditional leafy vegetable throughout Africa and a natural source of nutrients, such as vitamins, minerals and proteins (Mashamaite *et al.*, 2022). Still, there is great potential for using lucerne (*Medicago sativa*) for human nutrition and food sustainability (Mielmann, 2013). In addition, the Bambara peanut is a vegetable that is easy to grow, neglected, underutilized, and drought tolerant with nutritional and medicinal values (Udeh *et al.*, 2020). *Launaea taraxacifolia*, also known as wild lettuce, is an underutilized perennial herb that is common in North Africa, and the importance of its conventional nutritional gains has been highlighted (Bello *et al.*, 2018). Additionally, underutilized fruits are rich in macronutrients, micronutrients and dietary phytochemicals, presenting several benefits to human health (Ngemakwe *et al.*, 2017).

As part of the promotion of the value chain of underutilized food plants in the fight against food insecurity, steps were identified in the food value chain for the consumption of edible flowers of *Aponogeton distachyos*, a neglected and underutilized plant, with benefits for food quality, environmental sustainability and biodiversity maintenance (Pieterse *et al.*, 2022). The value chain in the use of neglected, underutilized and semi-domesticated species diversity in domestic gardens can be increased (Freedman & Stoilova, 2014). The actual consumption of traditional and exotic vegetables by women in rural and peri-urban villages of three districts in Tanzania within the project “Promotion of Neglected Indigenous Vegetables for Nutritional Health in East and Southern Africa” has the potential to increase the value chain (Keding *et al.*, 2009).

Plants

“Plants” was the fourth most common term in our analysis, and it was directly associated with the term “biodiversity and conservation”. To promote agrobiodiversity, including the conservation and use of neglected plant species for the well-being of humanity, it is necessary to create high-level visibility (Jones & Sanyang, 2009). Additionally, by providing improved varieties and developing improved cultivation practices for indigenous vegetables, scientists can contribute to the well-being of thousands of people (Weinberger, 2006).

However, to implement sustainable biodiversity conservation strategies, it is

necessary to understand popular knowledge systems related to the use of plant species and how this knowledge system interacts in the conservation of these species (Houessou *et al.*, 2012). In 2006, a “Strategic Framework for Research and Development of Underutilized Plant Species, including Asia, the Pacific and Sub-Saharan Africa” was developed under the direction of the Global Facility Unit for Underutilized Species, Bioversity International and the Center International for Underutilized Crops (Quartermain, 2007). In addition, to adapt the great diversity of underutilized crops to the needs of African producers, processors and consumers, the African Plant Breeding Academy trains the continent’s plant breeders to use genetic approaches and participatory solutions (Jamnadass *et al.*, 2020). However, neglected and underutilized plant species can also add nutritional value, enrich food diversity and ensure nutritional security in sub-Saharan Africa (Conti *et al.*, 2019).

The uncontrolled use of plant resources can have a great impact on the genetic diversity of plants. The use of little known but promising species should consider their conservation status (Siemonsma & Lemmens, 2009). Underutilized native plants often adapt to marginal conditions, which can contribute to resilient agriculture and sustainable food systems (Omotayo & Aremu, 2020b). However, underutilized edible plants used by indigenous populations around the world can play a key role in the development of alternative food systems (Wright *et al.*, 2022).

Several plant species, such as tiger nut (*Cyperus exculentus*), are still conceptualized as invasive plants and are neglected and underutilized, although they can play a significant role in food security, nutrition and income generation among the rural poor (Akabassi *et al.*, 2022). Furthermore, pro-poor domestication of underutilized plant species, if widely implemented, would have major impacts on global food production and the mitigation of malnutrition, hunger and poverty in developing countries (Leakey & Asaah, 2011).

In addition, the study of three underutilized and threatened native oilseed species in tropical Africa has resulted in recommendations for conservation actions and enhancement strategies (Tietiambou *et al.*, 2020). Furthermore, studies have revealed that neglected and underutilized crop species are important sources of household income and significantly help alleviate poverty (Dansie *et al.*, 2012). The gourd (*Lagenaria siceraria*) is a neglected and underutilized native food species that is available only as a variety in sub-Saharan Africa (Sithole & Modi, 2015)2015.

Safflower (*Carthamus tinctorius*) is an oilseed and one of the oldest crops. It is used as a vegetable, but its cultivation around the world has remained restricted as an underutilized and neglected crop (Emongor *et al.*, 2013). Nut thistle (*Sonchus oleraceus*) is an underutilized functional leafy vegetable that has a high nutritional value (Nobela *et al.*, 2022). Studies have indicated that underutilized indigenous fruit trees can play an important role in alleviating poverty and malnutrition in South Africa (Nkosi *et al.*, 2020). There have also been reports on the nutritional and antinutrient composition of the leaves of *Heteromorpha arborescens*, a wild and underutilized plant (Abifarin *et al.*, 2021), and the genetics of the Zombi pea (*Vigna vexillata*), which is an underutilized African crop (Dachapak *et al.*, 2018). Marama bean is an underutilized legume native to southern Africa and is part of the diet of the native population (Hulse *et al.*, 2010). *Allanblackia parviflora* is an underutilized native fruit tree species found in the rainforest zones of West Africa that has been targeted for domestication to improve fruit and seed production in Africa (Kyereh *et al.*, 2021).

In studies on African vegetables, Towns and Shackleton (2018) proposed a definition of the term Traditional African Vegetable (TAV) and presented a typology to classify the main groups of African vegetables. Other studies have presented an approach to identify and overcome the bottlenecks to greater use of the Bambara peanut crop so that the full potential of food security can be evaluated (Mayes *et al.*, 2009). The false banana or Abyssinian banana (*Ensete ventricosum*) is a variety of banana tree whose cultivation is restricted to southwest Ethiopia; it has high productivity and harvest flexibility and is a source of starch for about 20 million people (Koch *et al.*, 2022). Fonio, a variant of millet (*Digitaria exilis*), is a native crop in West Africa where there is a need to identify its genetic resources and potential for adaptation to climate change (Barnaud *et al.*, 2011). Species of the genus *Solanum*, such as *Solanum scabrum*, *S. tanderomotum*, *S. villosum*, *S. americanum* and *S. grossidentatum*, are cultivated for their nutritional and economic benefits in East and West Africa (Ruth *et al.*, 2021). Among several edible wild vegetables in South Africa, *Trachyandra divaricata* is one of the most abundant but underutilized due to the existence of few studies on its cultivation and nutritional value (Bulawa *et al.*, 2022).

Underutilized food plants in West Africa, with relevance to indigenous and traditional leafy vegetables, are restricted in their popularization (Nyarko & Quainoo, 2011). Yam species (*Dioscorea* spp.) are important staple foods for local communities in sub-Saharan Africa (Gbemavo *et al.*, 2021). In addition, there are strong relationships between the cultural importance of the spider plant (*Gynandropsis gynandra*), a neglected leafy vegetable in West Africa, and the different ways of managing the species among sociolinguistic groups in Benin and Togo (Sogbohossou *et al.*, 2018). Still, the trajectories of 12 indigenous African plants in tropical America better explain the diffusion of their culinary and ethnobotanical uses across the African diaspora (Vandebroek & Voeks, 2018). In a study carried out in the Mwekera area of Copperbelt Province, Zambia, the role of native fruit trees as a rural livelihood in the forest ecosystems of Miombo forests was determined (Kalaba *et al.*, 2009). Ethiopia has hundreds of edible plants and is highly food and nutritionally insecure (Aragaw *et al.*, 2021). With reference to wild edible plants used in sub-Saharan Africa for human consumption, Maroyi (2014) highlighted the pteridophyte group, with a total of 24 taxa belonging to 14 genera and 11 families.

FINAL CONSIDERATIONS

This review showed the capacity of bibliographic research to reveal traditional knowledge about underutilized plants in Africa based on dispersed primary data. The African continent's population is growing and the challenge of achieving food security will require innovation strategies, with an emphasis on sustainably increasing dietary quality and agricultural productivity.

We conclude that there are several problems that hinder the use of underutilized food plants on the African continent, namely: (i) few studies and limited research on their cultivation and nutritional value; (ii) lack of value chain promotion; (iii) low high-level visibility; (iv) absence of conservation actions and valuation strategies; (v) identify underutilized crops useful for food security; (vi) develop the domestication of underutilized plants; (vii) promote the population access to nutritious and diversified food; (viii) deficiency in the promotion of

food security, nutrition, health, income generation and ecosystem services; and (ix) deficient public policies to mitigate poverty and malnutrition.

This review aimed to provide subsidies in the search for the resolution of these problems, seeking to guarantee the use of underutilized food plants in African agriculture for future generations. Maintaining biodiversity, together with healthier and more sustainable agro-food systems, will result in greater food security in Africa.

Declaration of interests

The authors declare that they have no funding, no conflict of interest or personal relationships that may have interfered or influenced the content reported in this article.

Acknowledgements

This study was partially funded by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES), Code 001.

REFERENCES

Abifarin, T. O., Otunola, G. A., and Afolayan, A. J., 2021. Nutritional composition and antinutrient content of *Heteromorpha arborescens* (Spreng.) Cham. and Schltdl. leaves: An underutilized wild vegetable [Article]. *Food Science and Nutrition*, 9(1), 172-179. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1978>

Adeka, R., Maundu, P., and Imbumi, M., 2009. Significance of African Traditional Foods in Nairobi City Markets, Kenya. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.

Agiriga, A., and Siwela, M., 2017. Techniques Applied in Characterising Non-starch Polysaccharides in Underutilised Crops in Sub-Saharan Africa [Review]. *Food Analytical Methods*, 10(9), 3106-3118. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0880-8>

Ajilogba, C. F., Babalola, O. O., Adebola, P., and Adeleke, R., 2022. Bambara Groundnut Rhizobacteria Antimicrobial and Biofertilization Potential [Article]. *Frontiers in Plant Science*, 13, 16, Article 854937. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854937>

Akabassi, G. C., Palanga, K. K., Padonou, E. A., Dagnon, Y. D., Tozo, K., and Assogbadjo, A. E., 2022. Biology, production constraints and uses of *Cyperus exculentus* L. (neglected and underutilized crop species), implication for valorization: a review [Article]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(5), 1979-1992. <https://doi.org/10.1007/s10722-022-01344-3>

Akinnifesi, F. K., Mng'omba, S. A., Sileshi, G., Ajayi, O. C., and Mhango, J. L., 2009. First and Second Generation Research Efforts on Commoditising Indigenous Fruit Tree Crops in Southern Africa. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.

Akinola, R., Pereira, L. M., Mabhaudhi, T., de Bruin, F. M., and Rusch, L., 2020. A Review of Indigenous Food Crops in Africa and the Implications for more Sustainable and Healthy Food Systems [Review]. *Sustainability*, 12(8), 30, Article 3493. <https://doi.org/10.3390/su12083493>

- Aragaw, H. S., Nohr, D., and Callo-Concha, D., 2021. Nutritional potential of underutilized edible plant species in coffee agroforestry systems of Yayu, southwestern Ethiopia [Article]. *Agroforestry Systems*, 95(6), 1047-1059. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00626-6>
- Aremu, A. O. O., Makhaye, G., Tesfay, S. Z., Gerrano, A. S., Du Plooy, C. P. P., and Amoo, S. O. O., 2022. Influence of Commercial Seaweed Extract and Microbial Biostimulant on Growth, Yield, Phytochemical Content, and Nutritional Quality of Five *Abelmoschus esculentus* Genotypes [Article]. *Agronomy-Basel*, 12(2), 14, Article 428. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020428>
- Ayenon, M. A. T., Sodedji, K. A. F., Nwankwo, C. I., Olodo, K. F., and Alladassi, M. E. B., 2018. Harnessing genetic resources and progress in plant genomics for fonio (*Digitaria* spp.) improvement [Review]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(2), 373-386. <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0565-6>
- Azam-Ali, S., 2007. Agricultural diversification: The potential for underutilised crops in Africa's changing climates [Article]. *Rivista Di Biologia-Biology Forum*, 100(1), 27-37.
- Barnaud, A., Vigouroux, Y., Barry, B., Beavogui, F., Camara, M., Billot, C., . . . Bakasso, Y., 2011. From Advanced to Underutilized Crops: Making Fonio Benefit from Research on Major Cereals in Africa. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plant species: crops for the future - beyond food security]. 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species - Crops for the Future - Beyond Food Security, Kuala Lumpur, MALAYSIA.
- Bello, O. M., Abiodun, O. B., and Oguntoye, S. O., 2018. INSIGHT INTO THE ETHNOPHARMACOLOGY, PHYTOCHEMISTRY, PHARMACOLOGY OF *Launaea taraxacifolia* (Willd) AMIN EX C. JEFFREY AS AN UNDERUTILIZED VEGETABLE FROM NIGERIA: A REVIEW [Review]. *Annals of the University Dunarea De Jos of Galati, Fascicle Vi-Food Technology*, 42(2), 137-152.
- Bokelmann, W., Huyskens-Keil, S., Ferenczi, Z., and Stoeber, S., 2022. The Role of Indigenous Vegetables to Improve Food and Nutrition Security: Experiences From the Project HORTINLEA in Kenya (2014-2018) [Review]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 19, Article 806420. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.806420>
- Buckman, E. S., Oduro, I., Plahar, W. A., and Tortoe, C., 2018. Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) flour for food systems [Article]. *Food Science and Nutrition*, 6(2), 457-463. <https://doi.org/10.1002/fsn3.574>
- Bulawa, B., Sogoni, A., Jimoh, M. O., and Laubscher, C. P., 2022. Potassium Application Enhanced Plant Growth, Mineral Composition, Proximate and Phytochemical Content in *Trachyandra divaricata* Kunth (Sandkool) [Article]. *Plants-Basel*, 11(22), 21, Article 3183. <https://doi.org/10.3390/plants11223183>
- Bvenura, C., and Afolayan, A. J., 2015. The role of wild vegetables in household food security in South Africa: A review [Review]. *Food Research International*, 76, 1001-1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.013>
- Campanaro, A., Tommasi, N., Guzzetti, L., Galimberti, A., Bruni, I., and Labra, M., 2019. DNA barcoding to promote social awareness and identity of neglected, underutilized plant species having valuable nutritional properties [Review]. *Food Research International*, 115, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.031>
- Chimonyo, V. G. P., Wimalasiri, E. M., Kunz, R., Modi, A. T., and Mabhaudhi, T., 2020. Optimizing Traditional Cropping Systems Under Climate Change: A Case of Maize Landraces and Bambara Groundnut [Article]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 19, Article 562568. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.562568>

- Conti, M. V., Campanaro, A., Coccetti, P., De Giuseppe, R., Galimberti, A., Labra, M., and Cena, H., 2019. Potential role of neglected and underutilized plant species in improving women's empowerment and nutrition in areas of sub-Saharan Africa [Review]. *Nutrition Reviews*, 77(11), 817-828. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz038>
- Corsini, F., Certoma, C., Dyer, M., and Frey, M., 2019. Participatory energy: Research, imaginaries and practices on people' contribute to energy systems in the smart city. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.028>
- Costa, M. C. D., and Farrant, J. M., 2019. Plant Resistance to Abiotic Stresses [Editorial Material]. *Plants-Basel*, 8(12), 4, Article 553. <https://doi.org/10.3390/plants8120553>
- Dachapak, S., Tomooka, N., Somta, P., Naito, K., Kaga, A., and Srinives, P., 2018. QTL analysis of domestication syndrome in zombi pea (*Vigna vexillata*), an underutilized legume crop [Article]. *Plos One*, 13(12), 22, Article e0200116. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200116>
- Dansi, A., Vodouhe, R., Azokpota, P., Yedomonhan, H., Assogba, P., Adjatin, A., . . . Akpagana, K., 2012. Diversity of the Neglected and Underutilized Crop Species of Importance in Benin [Article]. *Scientific World Journal*, 19, Article 932947. <https://doi.org/10.1100/2012/932947>
- Darr, D., Chopi-Msadala, C., Namakhwa, C. D., Meinhold, K., and Munthali, C., 2020. Processed Baobab (*Adansonia digitata*L.) Food Products in Malawi: From Poor Men's to Premium-Priced Specialty Food? [Article]. *Forests*, 11(6), 14, Article 698. <https://doi.org/10.3390/f11060698>
- de Souza, M. P., Hoeltz, M., Benitez, L. B., Machado, E. L., and Schneider, R. D. D., 2019. Microalgae and Clean Technologies: A Review. *Clean-Soil Air Water*, 47(11), Article 1800380. <https://doi.org/10.1002/clen.201800380>
- Della Corte, V., Del Gaudio, G., Sepe, F., and Sciarelli, F., 2019. Sustainable Tourism in the Open Innovation Realm: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 11(21), Article 6114. <https://doi.org/10.3390/su11216114>
- Diop, B. M., Gueye, M. C., Agbangba, C. E., Cisse, N., Deu, M., Diack, O., . . . Barnaud, A., 2018. Fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf): A Socially Embedded Cereal for Food and Nutrition Security in Senegal [Article]. *Ethnobiology Letters*, 9(2), 150-165. <https://doi.org/10.14237/ebl.9.2.2018.1072>
- Djiazet, S., Kenfack, L. B. M., Ngangoum, E. S., Nzali, H. G., and Tchiegang, C., 2022. Indigenous spices consumed in the food habits of the populations living in some countries of Sub-Saharan Africa: Utilisation value, nutritional and health potentials for the development of functional foods and drugs: A review [Review]. *Food Research International*, 157, 15, Article 111280. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111280>
- Drabo, M. S., Shumoy, H., Koala, J., Savadogo, A., and Raes, K., 2022. Ecological niche, genetic variation in natural populations, and harvest maturity of *Senegalia macrostachya* (Rchb. ex DC) Kayl. and Boatwr., a promising wild and perennial edible-seeded crop. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00772-5>
- Du Toit, A., Mpemba, O., De Wit, M., Venter, S. L., and Hugo, A., 2021. The effect of size, cultivar and season on the edible qualities of nopalitos from South African cactus pear cultivars [Article]. *South African Journal of Botany*, 142, 459-466. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.07.025>
- Emongor, V. E., Oagile, O., and Kedikanetswe, B., 2013. Effects of Plant Population and Season on Growth and Development of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an Ornamental Plant. *Acta Horticulturae* [I international symposium on ornamentals in africa]. 1st International Symposium on Ornamentals in Africa, Naivasha, KENYA.

FAO, 2022. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2022.

Fernandes, T., Garrine, C., Ferrao, J., Bell, V., and Varzakas, T., 2021. Mushroom Nutrition as Preventative Healthcare in Sub-Saharan Africa [Review]. *Applied Sciences-Basel*, 11(9), 27, Article 4221. <https://doi.org/10.3390/app11094221>

Flyman, M. V., and Afolayan, A. J., 2006. The suitability of wild vegetables for alleviating human dietary deficiencies [Review]. *South African Journal of Botany*, 72(4), 492-497. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.02.003>

Foundation, U. N., 2023. Sustainable Development Goals. Retrieved May 31, 2023 from https://unfoundation.org/what-we-do/issues/sustainable-development-goals/?gclid=EAIaIQobChMI2bi92K2_-wIVYkFIAB0wRA8yEAAYASAAEgKp5vD_BwE

Freedman, B., and Stoilova, T., 2014. Home gardens bolstered by diversity from indigenous, semi-domesticated and wild vegetable species for improved health and income. *Acta Horticulturae* [Xxix international horticultural congress on horticulture: sustaining lives, livelihoods and landscapes (ihc2014): international symposium on indigenous vegetables]. 29th International Horticultural Congress on Horticulture - Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC) / International Symposium on Promoting the Future of Indigenous Vegetables Worldwide, Brisbane, AUSTRALIA.

Gbemavo, D., Assani, Z., Idohou, R., Laly, J., Gbaguidi, A., and Dansi, A., 2021. Modelling current agro-ecological zones for the cultivation of *Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax, a neglected and underutilized yam species in Benin (West Africa) [Article]. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 2127-2135. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00973-w>

Gerrano, A. S., Van Rensburg, W. S. J., Adebola, P. O., Manjeru, P., Bairu, M. W., and Venter, S. L., 2019. Evaluation and selection of taro *Colocasia esculentra* (L.) Schott accessions under dryland conditions in South Africa [Article]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 69(3), 219-227. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1530296>

Hellin, J., and Hgman, S., 2009. Underutilized Plant Products and Market Access: Challenges and Opportunities. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.

Houessou, L. G., Lougbegnon, T. O., Anagonou, L. E. S., and Sinsin, B., 2012. Ethno-botanical study of the African star apple (*Chrysophyllum albidum* G. Don) in the Southern Benin (West Africa) [Article]. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8, 10, Article 40. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-8-40>

Hulse, M., Husted, S., and Hansen, A., 2010. Chemical composition of marama bean (*Tylosema esculentum*)-A wild African bean with unexploited potential [Article]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 648-657. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.006>

Irungu, C., Mburu, J., Maundu, P., Grum, M., and Hoeschle-Zeledon, I., 2006. Marketing of African leafy vegetables in Nairobi and its implications for on-farm conservation of biodiversity. *Acta Horticulturae* [Proceedings of the 1st international conference on indigenous vegetables and legumes prospectus for fighting poverty, hunger and malnutrition]. 1st International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes Prospectus for Fighting Poverty, Hunger and Malnutrition, Hyderabad, INDIA.

Jamnadass, R., Mumm, R. H., Hale, I., Hendre, P., Muchugi, A., Dawson, I. K., . . . Van Deynze, A., 2020. Enhancing African orphan crops with genomics [Editorial Material]. *Nature Genetics*, 52(4), 356-360. <https://doi.org/10.1038/s41588-020-0601-x>

- Johns, T., and Eyzaguirre, P. B., 2006. Linking biodiversity, diet and health in policy and practice [Article; Proceedings Paper]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(2), 182-189. <https://doi.org/10.1079/pns2006494>
- Jones, M. P., and Sanyang, S., 2009. Underutilized Plants for Well-Being and Sustainable Development [Proceedings Paper]. *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development*, 806, 35-38. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.806.1>
- Kalaba, F. K., Chirwa, P. W., Prozesky, H., and Ham, C., 2009. The Role of Indigenous Fruit Trees in Rural Livelihoods: the Case of Communities in the Mwekera Area, Copperbelt Province, Zambia. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA*.
- Keding, G. B., Krawinkel, M. B., Maass, B. L., Virchow, D., and Msuya, J. M., 2009. Consumption of Traditional and Exotic Vegetables and Their Perceived and Real Contributions to Nutritional Health in Tanzania. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA*.
- Kinupp, V. F., Lorenzi, H., Cavalleiro, A. d. S., Souza, V. C., and Brochini, V., 2021. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas.
- Koch, O., Mengesha, W. A., Pironon, S., Pagella, T., Ondo, I., Rosa, I., . . . Borrell, J. S., 2022. Modelling potential range expansion of an underutilised food security crop in Sub-Saharan Africa [Article]. *Environmental Research Letters*, 17(1), 14, Article 014022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac40b2>
- Kwarteng, A. O., Abogoom, J., Adu Amoah, R., Nyadanu, D., Ghunney, T., Nyam, K. C., . . . Whyte, T., 2018. Current knowledge and breeding perspectives for the spider plant (*Cleome gynandra* L.): a potential for enhanced breeding of the plant in Africa [Article]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(5), 1529-1550. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0626-5>
- Kyereh, D., Manourova, A., Hendre, P. S., Muchugi, A., Kalousova, M., Nguenkeng, P. B. C., . . . Lojka, B., 2021. Diversity, Chemical Composition, and Domestication Potential of *Allanblackia parviflora* A. Chev. in West Africa [Article]. *Forests*, 12(12), 14, Article 1758. <https://doi.org/10.3390/f12121758>
- le Breton, G., 2009. Fads or Fixtures? The Challenges of Establishing Novel Plant Products as Enduring Fixtures in a Crowded Market. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA*.
- Leakey, R. R., Mabhaudhi, T., and Gurib-Fakim, A., 2021. African Lives Matter: Wild Food Plants Matter for Livelihoods, Justice, and the Environment—A Policy Brief for Agricultural Reform and New Crops. *Sustainability*, 13(13), 7252.
- Leakey, R. R. B., and Asaah, E. K., 2011. Underutilised Species as the Backbone of Multifunctional Agriculture - the Next Wave of Crop Domestication. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plant species: crops for the future - beyond food security]. *2nd International Symposium on Underutilized Plant Species - Crops for the Future - Beyond Food Security, Kuala Lumpur, MALAYSIA*.

- Maroyi, A., 2014. Not just minor wild edible forest products: consumption of pteridophytes in sub-Saharan Africa [Review]. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, 9, Article 78. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-78>
- Mashamaite, C. V., Manyevere, A., and Chakauya, E., 2022. Cleome gynandra: A wonder climate-smart plant for nutritional security for millions in semi-arid areas [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 13, 15, Article 1003080. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1003080>
- Mashau, M. E., Kgatla, T. E., Makhado, M. V., Mikasi, M. S., and Ramashia, S. E., 2022. Nutritional composition, polyphenolic compounds and biological activities of marula fruit (*Sclerocarya birrea*) with its potential food applications: a review [Review]. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1549-1575. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2064491>
- Mayes, S., Basu, S., Murchie, E., Roberts, J. A., Azam-Ali, S. N., Stadler, F., . . . Sheshshayee, M. S., 2009. BAMLINK - a Cross Disciplinary Programme to Enhance the Role of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) for Food Security in Africa and India. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. *International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA*.
- Meldrum, G., Padulosi, S., Lochetti, G., Robitaille, R., and Diulgheroff, S., 2018. Issues and Prospects for the Sustainable Use and Conservation of Cultivated Vegetable Diversity for More Nutrition-Sensitive Agriculture [Article]. *Agriculture-Basel*, 8(7), 21, Article 112. <https://doi.org/10.3390/agriculture8070112>
- Mielmann, A., 2013. The utilisation of lucerne (*Medicago sativa*): a review [Review]. *British Food Journal*, 115(4), 590-600. <https://doi.org/10.1108/00070701311317865>
- Mohammed, M., Jaiswal, S. K., Sowley, E. N. K., Ahiabor, B. D. K., and Dakora, F. D., 2018. Symbiotic N-2 Fixation and Grain Yield of Endangered Kersting's Groundnut Landraces in Response to Soil and Plant Associated Bradyrhizobium Inoculation to Promote Ecological Resource-Use Efficiency [Article]. *Frontiers in Microbiology*, 9, 14, Article 2105. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02105>
- Mosele, M. M., Hansen, A. S., Hansen, M., Schulz, A., and Martens, H. J., 2011. Proximate composition, histochemical analysis and microstructural localisation of nutrients in immature and mature seeds of marama bean (*Tylosema esculentum*) - An underutilised food legume [Article]. *Food Chemistry*, 127(4), 1555-1561. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.017>
- Motsi, H., Molapo, M., and Phiri, E. E., 2022. A review on sweet sorghum adaptive capacity on improving food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa [Review]. *South African Journal of Botany*, 150, 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.07.040>
- Mtenga, D. V., and Ripanda, A. S., 2022. A review on the potential of underutilized Blackjack (*Biden Pilosa*) naturally occurring in sub-Saharan Africa [Review]. *Heliyon*, 8(6), 14, Article e09586. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09586>
- Mudau, F. N., Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., and Mabhaudhi, T., 2022. Neglected and Underutilised Crops: A Systematic Review of Their Potential as Food and Herbal Medicinal Crops in South Africa [Review]. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 31, Article 809866. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.809866>
- Nassary, E. K., Baijukya, F., and Ndakidemi, P. A., 2020. Sustainable Intensification of Grain Legumes Optimizes Food Security on Smallholder Farms in Sub-Saharan Africa-A Review [Review]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 23(1), 25-41. <https://doi.org/10.17957/ijab/15.1254>

- Ndenga, E. A., Achigan-Dako, E. G., Mbugua, G., Maye, D., and Ojanji, W., 2011. Agricultural Diversification with Indigenous Vegetables for Cash Cropping and Nutrition: Examples from Rift Valley and Central Provinces in Kenya. *Acta Horticulturae* [Ii international symposium on underutilized plant species: crops for the future - beyond food security]. 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species - Crops for the Future - Beyond Food Security, Kuala Lumpur, MALAYSIA.
- Ngemakwe, P. H. N., Remize, F., Thaoge, M. L., and Sivakumar, D., 2017. Phytochemical and nutritional properties of underutilised fruits in the southern African region [Review]. *South African Journal of Botany*, 113, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.006>
- Nkosi, N. N., Mostert, T. H. C., Dzikiti, S., and Ntuli, N. R., 2020. Prioritization of indigenous fruit tree species with domestication and commercialization potential in KwaZulu-Natal, South Africa [Article]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(6), 1567-1575. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00932-5>
- Nobela, O., Ndhlala, A. R., Tugizimana, F., Njobeh, P., Raphasha, D. G., ., and Madala, N. E., 2022. Tapping into the realm of underutilised green leafy vegetables: Using LC- IT-Tof-MS based methods to explore phytochemical richness of *Sonchus oleraceus* (L.) L [Article]. *South African Journal of Botany*, 145, 207-212. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.010>
- Nyarko, G., and Quainoo, A., 2011. Potential of Biotechnology and Application of Genomics to Indigenous and Traditional Leafy Vegetables in West Africa. *Acta Horticulturae* [Ii international symposium on underutilized plant species: crops for the future - beyond food security]. 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species - Crops for the Future - Beyond Food Security, Kuala Lumpur, MALAYSIA.
- Oguntoyinb, F. A., Fusco, V., Cho, G. S., Kabisch, J., Neve, H., Bockelmann, W., . . . Franz, C., 2016. Produce from Africa's Gardens: Potential for Leafy Vegetable and Fruit Fermentations [Review]. *Frontiers in Microbiology*, 7, 14, Article 981. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00981>
- Oluwole, O. O., Aworunse, O. S., Aina, A. I., Oyesola, O. L., Popoola, J. O., Oyatomi, O. A., . . . Obembe, O. O., 2021. A review of biotechnological approaches towards crop improvement in African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) [Review]. *Heliyon*, 7(11), 9, Article e08481. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08481>
- Omotayo, A. O., and Aremu, A. O., 2020a. Evaluation of Factors Influencing the Inclusion of Indigenous Plants for Food Security among Rural Households in the North West Province of South Africa [Article]. *Sustainability*, 12(22), 19, Article 9562. <https://doi.org/10.3390/su12229562>
- Omotayo, A. O., and Aremu, A. O., 2020b. Underutilized African indigenous fruit trees and food-nutrition security: Opportunities, challenges, and prospects [Review]. *Food and Energy Security*, 9(3), 16, Article e220. <https://doi.org/10.1002/fes3.220>
- Omotayo, A. O., and Aremu, A. O., 2021. Marama bean *Tylosema esculentum* (Burch.) A. Schreib. : an indigenous plant with potential for food, nutrition, and economic sustainability [Review]. *Food and Function*, 12(6), 2389-2403. <https://doi.org/10.1039/d0fo01937b>
- Pambuka, G. T., Kinge, T. R., Ghosh, S., Cason, E. D., Nyaga, M. M., and Gryzenhout, M., 2022. Plant and Soil Core Mycobiomes in a Two-Year Sorghum-Legume Intercropping System of Underutilized Crops in South Africa [Article]. *Microorganisms*, 10(10), 16, Article 2079. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102079>
- Pereira, L. M., Calderon-Contreras, R., Norstrom, A. V., Espinosa, D., Willis, J., Lara, L. G., . . . Amaya, O. P., 2019. Chefs as change-makers from the kitchen: indigenous knowledge and traditional food as sustainability innovations [Article]. *Global Sustainability*, 2, 9, Article e16. <https://doi.org/10.1017/s2059479819000139>

- Pereira, L. M., Kushitor, S. B., Cramer, C., Drimie, S., Isaacs, M., Malgas, R., . . . Willis, J., 2022. Leveraging the potential of wild food for healthy, sustainable, and equitable local food systems: learning from a transformation lab in the Western Cape region. *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01182-3>
- Pieterse, E., Millan, E., and Schonfeldt, H. C., 2022. Consumption of edible flowers in South Africa: nutritional benefits, stakeholders' views, policy and practice implications. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/bfj-10-2021-1091>
- Popoola, J. O., Aworunse, O. S., Ojuederie, O. B., Adewale, B. D., Ajani, O. C., Oyatomi, O. A., . . . Obembe, O. O., 2022. The Exploitation of Orphan Legumes for Food, Income, and Nutrition Security in Sub-Saharan Africa [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 13, 21, Article 782140. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.782140>
- Quartermain, A., 2007. Documentation of policies and strategies relating to underutilised species. *Acta Horticulturae* [Proceedings of the 1st international symposium on breadfruit research and development]. 1st International Symposium on Breadfruit Research and Development, Nadi, FIJI.
- Ruth, O. N., Unathi, K., Nomali, N., and Chinsamy, M., 2021. Underutilization Versus Nutritional-Nutraceutical Potential of the Amaranthus Food Plant: A Mini-Review [Review]. *Applied Sciences-Basel*, 11(15), 26, Article 6879. <https://doi.org/10.3390/app11156879>
- Salami, S. O., Adegaju, O. D., Idris, O. A., Jimoh, M. O., Olatunji, T. L., Omonona, S., . . . Laubscher, C. P., 2022. South African wild fruits and vegetables under a changing climate: The implications on health and economy [Article]. *South African Journal of Botany*, 145, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.038>
- Sarkar, T., Salauddin, M., Roy, S., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M. A., . . . Rengasamy, K. R. R., 2022. Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095555>
- Schüler, S., Melo, N. A. d., and Lobo, E. A., 2022. *Alimentos do Ambiente Rural de Angola: Produção e Preparo*. (Vol. 1). Editora Dialética.
- Secinaro, S., Calandra, D., Petricean, D., and Chmet, F., 2021. Social Finance and Banking Research as a Driver for Sustainable Development: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 13(1), Article 330. <https://doi.org/10.3390/su13010330>
- Shayo, P. F., Mbega, E. R., and Treydte, A. C., 2021. The Potential of Oyster Nuts (*Telfairia pedata*) for Environmental Conservation and Food Security in Tanzania: A Review [Review]. *Human Ecology*, 49(4), 495-504. <https://doi.org/10.1007/s10745-021-00249-6>
- Siemonsma, J. S., and Lemmens, R., 2009. Underutilized Cereals, Pulses and Vegetables in Tropical Africa and Their Threats: Conclusions from PROTA 1 and 2. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.
- Sithole, N., and Modi, A. T., 2015. Responses of selected bottle gourd *Lagenaria siceraria* (Molina Standly) landraces to water stress [Article]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 65(4), 350-356. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1012109>
- Smith, I. F., and Longvah, T., 2009. Mainstreaming the Use of Nutrient-Rich Underutilized Plant Food Resources in Diets Can Positively Impact on Family Food and Nutrition Security - Data from Northeast India and West Africa. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.

- Soares, P. B., Carneiro, T. C. J., Calmon, J. L., and Castro, L. O. d. C. d. O., 2016. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. *Ambiente Construído*, 16, 175-185.
- Sogbohossou, E. O. D., Achigan-Dako, E. G., van Andel, T., and Schranz, M. E., 2018. Drivers of Management of Spider Plant (*Gynandropsis gynandra*) Across Different Socio-linguistic Groups in Benin and Togo [Article]. *Economic Botany*, 72(4), 411-435. <https://doi.org/10.1007/s12231-018-9423-5>
- Soumare, A., Diedhiou, A. G., and Kane, A., 2022. Bambara groundnut: a neglected and underutilized climate-resilient crop with great potential to alleviate food insecurity in sub-Saharan Africa [Article]. *Journal of Crop Improvement*, 36(5), 747-767. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.2000908>
- Stadlmayr, B., Nilsson, E., Mouille, B., Medhammar, E., Burlingame, B., and Charrondiere, U. R., 2011. Nutrition indicator for biodiversity on food composition-A report on the progress of data availability [Article]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4-5), 692-698. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.09.009>
- Tan, X. L., Azam-Ali, S., Von Goh, E., Mustafa, M., Chai, H. H., Ho, W. K., . . . Massawe, F., 2020. Bambara Groundnut: An Underutilized Leguminous Crop for Global Food Security and Nutrition [Review]. *Frontiers in Nutrition*, 7, 16, Article 601496. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.601496>
- Teye, E., Deha, C. I., Dadzie, R., and MacArthur, R. L., 2020. Delivering the Nutritional Needs by Food to Food Fortification of Staples Using Underutilized Plant Species in Africa [Review]. *International Journal of Food Science*, 2020, 8, Article 8826693. <https://doi.org/10.1155/2020/8826693>
- Tietiambou, F. R. S., Salako, K. V., Tohoun, J. R., and Ouedraogo, A., 2020. Local preferences for three indigenous oil-seed plants and attitudes towards their conservation in the Kenedougou province of Burkina Faso, West-Africa [Article]. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 16, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00393-1>
- Towns, A. M., and Shackleton, C., 2018. Traditional, Indigenous, or Leafy? A Definition, Typology, and Way Forward for African Vegetables [Review]. *Economic Botany*, 72(4), 461-477. <https://doi.org/10.1007/s12231-019-09448-1>
- Udeh, E. L., Nyila, M. A., and Kanu, S. A., 2020. Nutraceutical and antimicrobial potentials of Bambara groundnut (*Vigna subterranean*): A review [Review]. *Heliyon*, 6(10), 5, Article e05205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05205>
- Ugolini, D., Bonassi, S., Cristaudo, A., Leoncini, G., Ratto, G. B., and Neri, M., 2015. Temporal trend, geographic distribution, and publication quality in asbestos research. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6957-6967. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3925-1>
- UNDP, U. N. D. P.-, 2022. Sustainable Development Goals Retrieved December 6, 2022. from <https://www.undp.org/sustainable-development-goals#:~:text=What%20are%20the%20Sustainable%20Development,people%20enjoy%20peace%20and%20prosperity>
- Van Damme, P., 2009. Underutilized African Plant Biodiversity for New Crop Development. *Acta Horticulturae* [International symposium on underutilized plants for food security, nutrition, income and sustainable development]. International Symposium on Underutilized Plants for Food Security, Nutrition, Income and Sustainable Development, Arusha, TANZANIA.
- van Rayne, K. K., Adebo, O. A., Wokadala, O. C., and Ngobese, N. Z., 2021. The potential of *Strychnos* spp L. Utilization in Food Insecurity Alleviation: A review. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012791>

Vandebroek, I., and Voeks, R., 2018. The Gradual Loss of African Indigenous Vegetables in Tropical America: A Review [Review]. *Economic Botany*, 72(4), 543-571. <https://doi.org/10.1007/s12231-019-09446-3>

Vinceti, B., Fremout, T., Termote, C., Conejo, D. F., Thomas, E., Lachat, C., . . . Ouoba, H., 2022. Food tree species selection for nutrition-sensitive forest landscape restoration in Burkina Faso [Article]. *Plants People Planet*, 4(6), 667-684. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10304>

Weinberger, K., 2006. Are indigenous vegetables underutilized crops? Some evidence from Eastern Africa and South East Asia. *Acta Horticulturae* [Proceedings of the 1st international conference on indigenous vegetables and legumes prospectus for fighting poverty, hunger and malnutrition]. 1st International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes Prospectus for Fighting Poverty, Hunger and Malnutrition, Hyderabad, INDIA.

Wiesel, P. G., Dresch, E., de Santana, E. R. R., and Loboestan, E. A., 2021. Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review. *Management of Environmental Quality*, 32(3), 453-469. <https://doi.org/10.1108/meq-07-2020-0156>

Wright, O. R. L., Sivakumar, D., Sultanbawa, Y., and Netzel, M. E., 2022. Editorial: Food and Nutrition Security: Underutilized Plant and Animal-Based Foods [Editorial Material]. *Frontiers in Nutrition*, 8, 2, Article 821388. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.821388>

Yang, S. Y., Grall, A., and Chapman, M. A., 2018. Origin and diversification of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.), a multipurpose underutilized legume [Article]. *American Journal of Botany*, 105(5), 888-897. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1093>

Zhang, Y., Xu, H., Hu, Z. B., Yang, G. H., Yu, X. J., Chen, Q. F., . . . Yan, Z. W., 2022. *Eleocharis dulcis* corm: phytochemicals, health benefits, processing and food products [Review]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(1), 19-40. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11508>

Organizador

Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

Índice Remissivo

A

abordagem 36, 80, 85, 115
abordagem sustentável 80
aerogerador 13, 14, 15, 20
água potável 103, 104, 105
alumínio 71, 72, 73, 77, 78, 79
ambiente controlado 125, 128
ambiente tecnológico 52
arco submerso 58, 59, 60, 62, 63, 69
arquitetura 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 88

B

balanço de onda 58, 59, 60, 65, 66, 67, 68, 69

C

canteiro de obras 153, 154, 155, 156, 157
carregamento aerodinâmico 13, 18
compostos bioativos 125, 127, 128, 132, 133
computacional 13, 14, 23, 24
conceito de indústria 53
condições climáticas 38
condutibilidade térmica 71
condutividade elétrica 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78
construção civil 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88
controle e tecnologia 53
crimes ambientais 206, 210, 211, 214, 215
cultivo 125, 128, 129, 130, 131, 132, 133
customização 52, 54

D

degradação ambiental 80, 83, 91
desenvolvimento 56, 81, 82, 83, 84, 91, 92, 95, 98, 99,
127, 129, 130, 131, 132, 133, 137, 142, 143, 145
dessalinização 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111,
112, 113, 114
dinâmica dos fluidos 23, 24

E

edificações 23, 24, 26, 33, 36
empreendimento 108, 144, 156, 167, 168, 169
energia renovável 115, 118
engenharias 13
estratégia fundamental 153
estratégias 53, 55, 56

F

ferramenta 13, 15, 26, 54, 90, 94, 100
força do vento 23, 28, 29, 33
fundações 26, 167, 169, 170, 171, 173, 174, 176, 177
fungo 125, 126, 128, 129, 130, 132, 133

G

gestão dos recursos 90
gestão inteligente 90, 91, 97
gestão logística 90, 91, 100
gestores públicos 90, 92

H

habitação de interesse social 80, 82, 89
habitações sociais 80
hidrogênio 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123
humanidade 207

I

inovação 142, 144, 147, 148, 149, 150, 151, 152
inovações tecnológicas 53
instrumentos 83, 115
inversor de frequência 190
IoT 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101
IOT 90, 91, 92

L

laboratório 115, 116, 117, 122, 123
leis 206, 209, 211, 212, 213, 214, 215
logística 90, 91, 92, 100, 153

M

machine learning 13, 15, 21, 22
manifestações patológicas 38, 39, 47
manutenção 14, 52, 53, 54, 55, 56
manutenção industrial 142, 143, 144, 145, 148, 150,
151, 152
manutenção preditiva 14, 54, 142, 145, 146, 147, 150,
151
materiais sustentáveis 80, 82
meio ambiente 206, 207, 208, 209, 211, 213, 214, 215,
216
meio de tecnologias 52
métodos convencionais 71, 73
modal rodoviário 136, 137, 159

O

onda quadrada 58, 59, 60
operador de manutenção 52, 56
osmose 103, 104, 106, 110, 112, 114
otimização 24, 36, 54, 93, 96, 97, 100, 153, 155, 157,
158

P

pavimentos 26, 27, 38, 39, 40, 47, 50, 51
políticas 53, 54, 55, 56
potabilidade 103, 104, 107, 112
práticas construtivas 80
processo 52, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 71, 73, 76, 79,
84, 85, 86, 103, 104, 105, 106, 110, 112, 114
processo de manufatura 52, 54
processos de manufatura 53
propriedades 69, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79

Q

qualidade e produtividade 52

R

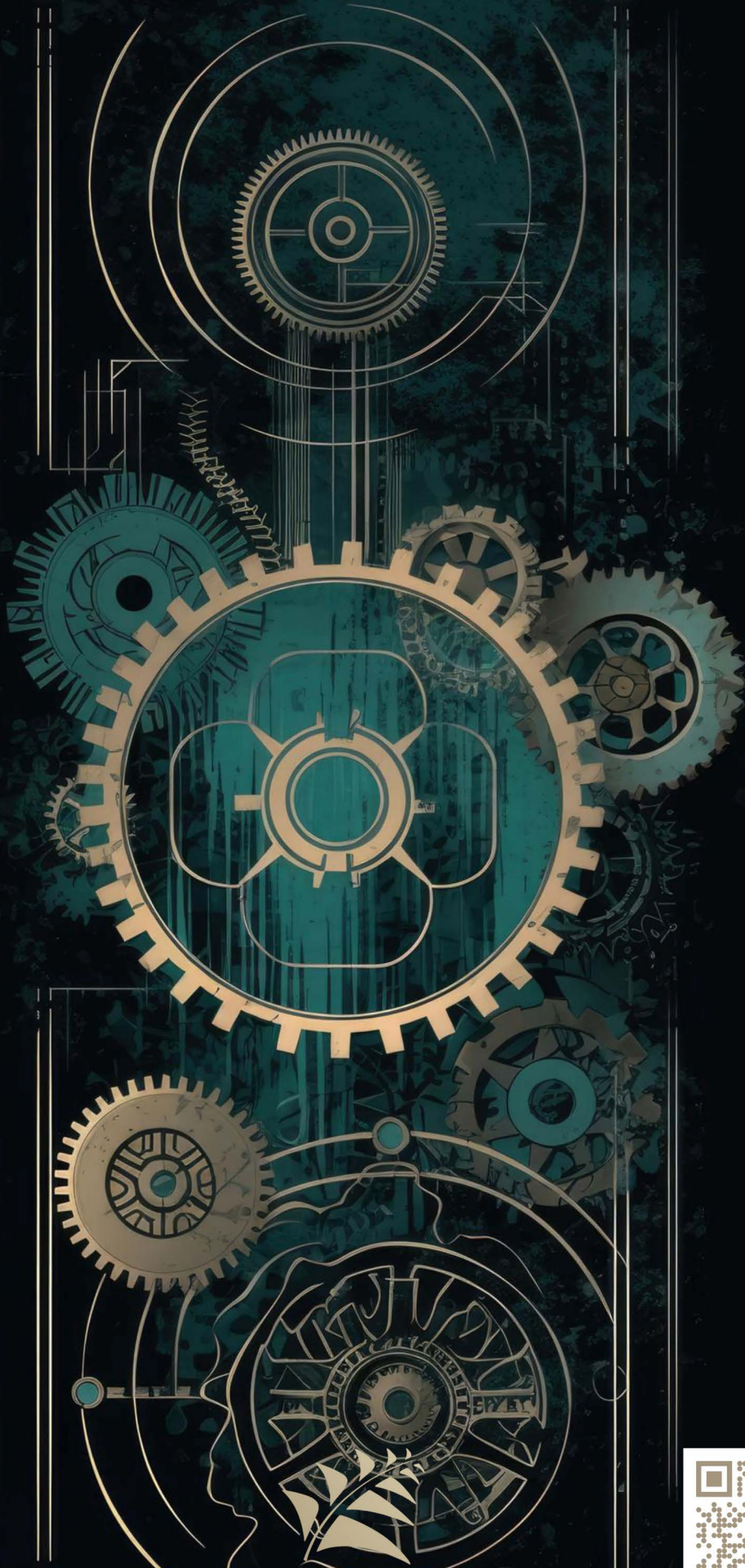
recursos físicos 153
resíduos sólidos 83, 90, 91, 93, 94, 96, 99, 100, 101
restauração 38, 47, 48, 50
revestimento asfáltico 38
revolução tecnológica 52
rodovias 38, 43, 51, 136, 137, 138, 159, 160, 161, 165,
166
rugosidade 23, 24, 25, 27, 28, 31, 35

S

simulações 13, 15, 16, 20
simulações de carbono 58
sistema 5, 38, 54, 55, 63, 81, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100,
103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 115, 118, 120
sistema de transporte 38
sustentabilidade 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 91, 92, 88

T

técnicas construtivas 23
tecnologia 52, 53, 54, 55, 62, 92, 95, 96, 97, 98, 99,
104, 105, 113, 114, 117, 118, 119, 120, 142, 149,
151
tecnologias 52, 53, 54, 55, 56, 84, 90, 92, 93, 94, 96,
97, 100
tragédias ambientais 206, 209



AYA EDITORA
2024

