

ECCOP

ENCONTRO DE COMPUTAÇÃO DO OESTE POTIGUAR

VOL. 1 N. 8 | MAIO 2025

VOLUME 1
NÚMERO 8

ANAIS DO VII ENCONTRO
DE COMPUTAÇÃO DO OESTE
POTIGUAR

UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO

ISSN 2526-7574022

12 a 14 de Maio de 2025

Campus Pau dos Ferros

Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar (ECOP)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Vol. 1, N. 8 - 2025

ISSN 2526-7574

Pau dos Ferros - Rio Grande do Norte - Brasil

Editores

Prof. Dr. João Batista de Souza Neto, UFERSA

Prof. Dr. Kennedy Reurison Lopes, UFERSA

Prof. Dra. Rosana Cibely Batista Rego, UFERSA

Editoração Eletrônica

Prof. Dra. Rosana Cibely Batista Rego, UFERSA

Conselho Científico

- Adelson Menezes Lima, UFERSA
- Ádller de Oliveira Guimarães, UFERSA
- Amanda Gondim de Oliveira, UFERSA
- Cecílio Martins de Sousa Neto, UFERSA
- Danielle Simone Da Silva Casillo, UFERSA
- Dannel Cavalcante Lopes, UFERSA
- Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, UFERSA
- George Felipe Fernandes Vieira, UFERSA
- Huliane Medeiros da Silva, UFERSA
- João Batista de Souza Neto, UFERSA
- Jose Ferdinandy Silva Chagas, UFERSA
- Kennedy Reurison Lopes, UFERSA
- Laysa Mabel De Oliveira Fontes, UFERSA
- Leonardo Augusto Casillo, UFERSA
- Luiz Carlos Aires De Macedo, UFERSA
- Petrúcio Ricardo Tavares, UFERSA
- Raí Emanuel Tavares de Freitas, UFERSA
- Rosana Cibely Batista Rego, UFERSA
- Sâmara de Cavalcante Paiva, UFERSA
- Sandra Regina Rocha Mariscal Vargas, UFERSA
- Vinícius Samuel Valério de Souza, UFERSA
- Walber José Adriano Silva, UFERSA

Apresentação

Os Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar (ISSN 2526-7574)

Publicação anual da UFERSA no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros. Os trabalhos apresentados no ECOP têm como objetivo reunir as melhores produções científicas regionais em Computação. Durante o evento, os participantes assistem a palestras, minicursos, mesas-redondas e interagem com *startups* e empresas de tecnologia. Em 2025, o ECOP realizou sua sétima edição presencial.

Temas abordados:

- Inteligência Artificial
- Informática aplicada à Saúde e Engenharia Biomédica
- Cidades Inteligentes
- Engenharia de Software
- Lógica e Teoria da Computação
- Computação Gráfica e Processamento de Imagens
- Informática Educacional
- Redes de Computadores e Telecomunicações
- Sistemas de Informação
- Banco de Dados
- Big Data
- Automação e Robótica
- Sistemas Embarcados
- Educação e Computação

Artigos Publicados

1. **Pré-processamento de sinais de eletromiografia para extração de características e treinamento de modelos preditivos de fadiga muscular**
Fonseca Araujo et al. – pp. 6
2. **Utilização de algoritmos genéticos na montagem de tabelas de campeonatos de futebol**
Costa et al. – pp. 11
3. **Solução IoT modularizada para salas de aula inteligentes**
Silva Júnior et al. – pp. 17
4. **Inovação na agricultura: monitoramento da maturidade de melão com tecnologia RFID**
Rodrigues da Silva et al. – pp. 21
5. **Desempenho das redes 4G e 5G utilizando modelos computacionais de propagação de sinais**
de Carvalho Rêgo et al. – pp. 25
6. **Detecção de diabetes em pacientes adultos usando inteligência artificial explicável**
Paiva et al. – pp. 31
7. **Metodologia de projeto de um protótipo didático de pêndulo invertido utilizando impressão 3D**
Nascimento de Oliveira et al. – pp. 37
8. **Drone controlado por gestos manuais classificados por rede neural**
Bezerra et al. – pp. 43
9. **Aplicação de visão computacional e deep learning na detecção precoce de doenças em melão**
de Oliveira Dias et al. – pp. 47
10. **Análise computacional da taxa de absorção específica (SAR) em antenas flexíveis para dispositivos wearable em tecnologias WBAN**
Silva et al. – pp. 52
11. **Estudo de radio enlace entre os campi UFERSA Mossoró e Caraúbas para comunicação sem fio utilizando rede 2,4 e 5 GHz**
Lopes et al. – pp. 58
12. **Modelo de deep learning para detecção de fissuras em imagens térmicas**
Vieira Gonçalves et al. – pp. 64
13. **Modelagem computacional como ferramenta para avaliação da potência do sinal 5G na área urbana de Mossoró**
Freitas da Silva et al. – pp. 68

14. **Dinamizando a gestão de ativos com programação visual: um estudo de caso na Prefeitura Municipal de Jucuturu-RN**
Gutemberg et al. – pp. 74
15. **Modelagem computacional na avaliação da exposição de campos eletromagnéticos provenientes de sistemas elétricos de potência, na faixa de 60Hz**
Santiago Chaves et al. – pp. 80
16. **Quebrando paradigmas de gênero no ensino com o uso da experimentação de eletrônica básica**
Freitas et al. – pp. 85

Pré-processamento de sinais de eletromiografia para extração de características e treinamento de modelos preditivos de fadiga muscular*

1st Ian Antonio Fonseca Araújo 2nd Yasmin Maria Santana de Melo 3rd Jorge Richard dos Santos Rocha
Dep. de Eng. de Computação e Automação Dep. de Eng. Biomédica Dep. de Eng. Biomédica
UFRN UFRN UFRN
Natal, Brasil Natal, Brasil Natal, Brasil
ian.fonseca.115@ufrn.edu.br yasminsantana647@gmail.com jorge.rocha.116@ufrn.edu.br

4th Vívian dos Santos Pereira 5th Amanda Geórgia Diniz de Campos 6th Ernano Arrais Junior
Dep. de Eng. Biomédica Inst. Int. de Neurociências E. e L. Safra Dep. de Eng. Biomédica
UFRN ISD UFRN
Natal, Brasil Natal, Brasil Natal, Brasil
vivian.pereira.016@ufrn.edu.br amanda.campos@edu.isd.org.br ernano.arrais@ufrn.br

Resumo—O estudo investiga o pré-processamento de sinais de EMG para detectar fadiga muscular (FM) e a eficácia de modelos de aprendizado de máquina na sua classificação. Foram extraídas características dos sinais, incluindo energia, frequência média (MNF) e frequência mediana (MDF), além de coeficientes da Transformada Wavelet Discreta (TWD) para captura de variações temporais e espectrais. Modelos K-Nearest Neighbors (KNN) e Random Forest (RF) foram treinados, variando hiperparâmetros para otimizar a classificação entre sinais com e sem FM.

Index Terms—Fadiga, EMG, TWD, KNNs, RF

I. INTRODUÇÃO

A fadiga muscular (FM) pode ser definida como a redução temporária da capacidade do músculo de realizar ações físicas [1] ou, para alguns autores, como a incapacidade de sustentar a força máxima [2]. Ela se manifesta em algumas doenças neurodegenerativas de forma mais acentuada, como o Parkinson, no qual há um aumento da FM durante contrações musculares em comparação com pessoas saudáveis [3], e na esclerose lateral amiotrófica (ELA), na qual, além da fraqueza muscular, os pacientes também sofrem de FM [2].

Para quantificar a FM, é necessário utilizar ferramentas que permitam analisar a atividade muscular de forma detalhada. A eletromiografia (EMG) é uma técnica amplamente empregada para esse fim, pois possibilita a extração de informações relevantes sobre a função muscular [4]. No entanto, o processamento de sinais EMG é essencial para extrair informações úteis ocultas, eliminando interferências e dados irrelevantes [4]. A partir desse processamento, é possível obter características temporais e de frequência que permitem a mensuração da FM [5].

A escolha adequada das características extraídas é essencial para garantir um bom desempenho na análise e classificação da

FM nos sinais, pois a inclusão de atributos não correlacionados com o estado de FM pode comprometer a eficiência dos modelos preditivos. Geralmente, as características extraídas dos sinais de EMG são classificadas em três principais grupos: domínio do tempo, domínio da frequência e representação tempo-frequência [6].

No domínio do tempo, o valor eficaz, conhecido como Root Mean Square (RMS), destaca-se por medir a amplitude do sinal de EMG, refletindo a atividade muscular [6]. No domínio da frequência, métricas como a Frequência Média (MNF) e a Frequência Mediana (MDF) são amplamente utilizadas na análise desses sinais [6]. Já na representação tempo-frequência, a Transformada Wavelet Discreta (TWD) permite decompor o sinal em diferentes escalas, capturando simultaneamente padrões transitórios e variações temporais e espectrais. Essa abordagem tem sido aplicada com sucesso na análise de diversos sinais biomédicos, como eletrocardiograma (ECG) [7], e se destaca na classificação da FM em sinais de EMG [8].

Este trabalho tem como objetivo analisar métodos de pré-processamento de sinais de EMG de superfície, a fim de identificar características que diferenciem sinais musculares normais daqueles indicativos de FM. Além disso, serão explorados possíveis modelos preditivos de inteligência artificial para a avaliação da FM, buscando aprimorar a precisão na sua detecção e classificação.

II. METODOLOGIA

A. Dataset

No presente estudo, foram utilizados exclusivamente os dados referentes ao movimento de flexão de cotovelo, extraídos do dataset "A Dataset of sEMG and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis"[9]. Esse movimento foi

escolhido, pois, nesta etapa inicial do estudo, o foco é analisar apenas movimentos que envolvem a ativação predominante do bíceps braquial.

A frequência de amostragem utilizada para a aquisição dos sinais foi de 1259 Hz. A colocação dos sensores de EMG foi realizada seguindo as diretrizes do SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles), que estabelece padrões para a aquisição de sinais de EMG de superfície [10].

No protocolo experimental, os voluntários repetiram o movimento de flexão de cotovelo diversas vezes até atingirem a fadiga [10]. O sinal EMG foi dividido em três etapas distintas: fase inicial (sem fadiga), na qual o músculo apresenta desempenho máximo na execução da tarefa; fase de transição, caracterizada pelo aquecimento do músculo e pelo aumento da dificuldade em manter a intensidade do exercício; e fase de fadiga, onde ocorrem compensações no movimento e a tarefa deixa de ser executada corretamente, refletindo a redução da capacidade contrátil do músculo [10].

Durante a análise dos dados, observou-se que o voluntário 6 (S06) apresentou inconsistências nos labels que indicavam os níveis de fadiga. Diante disso, optou-se por excluir os dados desse voluntário do conjunto final.

B. Extração de características de sinais de EMG

1) *Energia do sinal*: A energia de um sinal EMG é definida como a soma dos quadrados de cada valor de amplitude do sinal [6]. Sua formulação matemática é dada por:

$$E = \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (1)$$

onde E representa a energia do sinal, x_i é a amplitude do sinal EMG no instante i , e N é o número total de amostras do sinal.

2) *Frequência média*: A MNF, também conhecida como frequência central, é calculada como a soma dos produtos do espectro de potência pela frequência do sinal, dividida pela soma da intensidade do espectro [6]. Sua formulação matemática é dada por:

$$MNF = \frac{\sum_{i=1}^N f_i P_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \quad (2)$$

onde MNF representa a frequência média, f_i é a frequência correspondente ao componente i do espectro, P_i é a densidade espectral de potência nesse componente, e N é o número total de componentes de frequência.

3) *Frequência mediana*: A MDF é definida como a frequência na qual o espectro de potência é dividido em duas regiões de mesma soma de amplitudes [6]. Sua formulação matemática é dada por:

$$\sum_{i=1}^k P_i = \sum_{i=k+1}^N P_i \quad (3)$$

onde P_i representa a densidade espectral de potência na frequência f_i , N é o número total de componentes de frequência, e k é o índice correspondente à frequência mediana MDF , que satisfaz essa condição de equilíbrio no espectro de potência.

C. Transformada Wavelet

A Transformada Wavelet é uma ferramenta amplamente utilizada na análise de sinais biomédicos, como o sinal de EMG [11]. Ela permite a decomposição do sinal em diferentes faixas de frequência, preservando simultaneamente as informações temporais e espectrais [7].

A TWD realiza a decomposição de um sinal discreto em duas partes principais: os coeficientes de aproximação, que representam a versão suavizada do sinal e são obtidos por meio de um filtro passa-baixa, capturando as componentes de baixa frequência e preservando a forma do sinal; e os coeficientes de detalhe, que capturam as informações de alta frequência do sinal, representando variações bruscas, são extraídos através de um filtro passa-alta [7]. Os coeficientes podem ser obtidos pelas seguintes equações:

$$s_j(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(n-2k)s_{j-1}(n) \quad (4)$$

$$\omega_j(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n-2k)s_{j-1}(n) \quad (5)$$

Os coeficientes de aproximação $s_j(k)$ no nível de resolução j são obtidos pela aplicação do filtro passa-baixa $g(n)$, enquanto os coeficientes de detalhe $\omega_j(k)$ no nível j são extraídos por meio do filtro passa-alta $h(n)$. Os coeficientes $s_{j-1}(n)$ representam o nível anterior da decomposição. As funções $g(n)$ e $h(n)$ correspondem às respostas ao impulso dos filtros passa-baixa e passa-alta, respectivamente. O fator $2k$ indica a operação de subamostragem, reduzindo pela metade a quantidade de coeficientes em cada nível de decomposição.

D. Modelos de Classificação

1) *K-nearest neighbors (KNN)*: é um algoritmo de aprendizado supervisionado para classificação e regressão que classifica novos dados com base nos k vizinhos mais próximos em um espaço de características. Na análise de EMG, esse espaço é formado pelas características extraídas e processadas do sinal.

2) *Random Forest (RF)*: combina múltiplas árvores de decisão para obter resultados mais robustos e precisos em tarefas de classificação e regressão. Um hiperparâmetro importante é o número de estimadores, que define a quantidade de árvores na floresta. Assim como o KNN, o RF opera no espaço de características extraídas dos sinais de EMG.

E. Pré-processamento

Inicialmente, os sinais de EMG foram separados em dois grupos: sem FM e com FM. No total, foram utilizados sinais de 11 voluntários com registros de ambos os braços. Dessa forma, a base de dados contou com 22 sinais na condição

sem FM e 22 sinais na condição com FM. Vale destacar que os atributos de entrada correspondem às tensões elétricas registradas durante os experimentos, sendo, portanto, atributos numéricos que representam a atividade muscular medida pelos eletrodos.

Além do cálculo das características MNF, MDF e energia para os sinais fadigados e não fadigados, foi realizada a análise da correlação de Pearson entre essas características e o estado de FM. Essa correlação permitiu avaliar a relação entre cada métrica extraída e a presença de FM, auxiliando na identificação das características mais relevantes para a distinção entre os dois grupos.

Com o objetivo de ampliar a quantidade de dados disponíveis e permitir a classificação com base em trechos mais curtos do sinal EMG, reduzindo assim a quantidade de contrações necessárias para a identificação da FM, os sinais foram particionados em segmentos de 10 segundos. Esse particionamento resultou em um total de 287 segmentos correspondentes a sinais com FM e 186 segmentos correspondentes a sinais sem FM. As características e correlações foram extraídas de cada um desses segmentos particionados. Posteriormente, essas características foram utilizadas no treinamento do modelo de classificação binária, com o propósito de distinguir entre sinais com e sem FM.

F. Treinamento dos modelos

Foi criado um espaço de características com base nas métricas extraídas dos sinais particionados: energia, MNF e MDF. Para otimizar o desempenho, o modelo KNN foi treinado com diferentes valores de k , variando entre 1 e 10. O algoritmo foi executado uma vez para cada valor, identificando aquele com melhor performance. De forma similar, o número de estimadores do modelo RF foi ajustado entre 1 a 100, buscando a configuração mais eficaz.

Os dados de treinamento e teste vieram dos trechos particionados dos sinais de EMG, com um vetor de características contendo energia, MNF e MDF para cada partição. As amostras foram divididas aleatoriamente: 80% para treinamento e 20% para teste.

Adicionalmente, foram treinados modelos utilizando a TWD para extração de características em faixas específicas de frequência. Foram aplicadas wavelets de Daubechies de segunda ordem, com decomposições até o quarto nível. As características extraídas dos coeficientes de aproximação de ordem 4, que melhor se correlacionaram com o estado de FM, compuseram o vetor de atributos, substituindo as métricas originais sem adição dos atributos anteriores.

A acurácia dos modelos foi avaliada diretamente no conjunto de teste, sem utilização de validação cruzada neste estudo.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos sinais mostrou uma correlação positiva entre a energia do sinal e o estado de FM e uma correlação negativa da MNF e da MDF do sinal com o estado FM como listada na Tabela I. Uma correlação menor, porém de mesmo sentido,

se manteve após o sinal ser particionado como mostrado na Tabela II.

Tabela I: Correlações sinais não particionados

	Correlação de Pearson		
	Energia	MNF	MDF
Correlação	0,3413	-0,3124	-0,3494

Tabela II: Correlações sinais particionados

	Correlação de Pearson		
	Energia	MNF	MDF
Correlação	0,2688	-0,2325	-0,2842

A Figura 1 mostra a acurácia do modelo de RF de acordo com a quantidade de estimadores. O melhor desempenho foi alcançado com o número de estimadores de 8 e 12, ambos com a mesma acurácia de 86,31%.

A Figura 2 representa a acurácia do modelo de KNN para k variando de 1 até 10. A melhor versão do modelo foi a com $k = 3$, que obteve 84,21% de acurácia.

Apesar da similaridade no desempenho, o modelo de RF obteve a melhor performance em comparação com o KNN.

Analisando a Tabela III, observa-se que os coeficientes de aproximação do terceiro nível apresentaram correlações ligeiramente superiores para o parâmetro de Energia em comparação aos do quarto nível. Contudo, optou-se pela utilização dos coeficientes do quarto nível no treinamento dos modelos, uma vez que estes apresentaram correlações mais consistentes e equilibradas entre todos os parâmetros, especialmente para o MDF, proporcionando uma representação mais uniforme das características do sinal.

Apesar dessa escolha metodológica, os modelos não apresentaram um desempenho tão satisfatório quanto aqueles treinados com as características extraídas sem o uso da TWD. A acurácia obtida pelo modelo RF foi de 74,73%, enquanto o modelo KNN atingiu 66,32%, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.

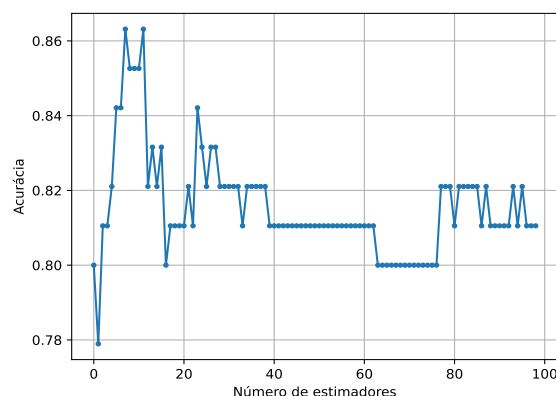


Figura 1: Acurácia por quantidade de estimadores RF usando características originais.

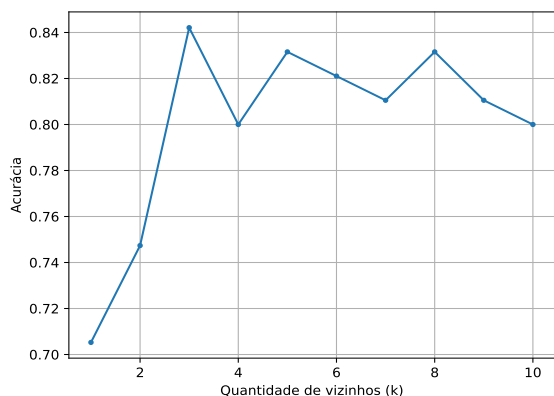


Figura 2: Acurácia por número de vizinhos KNN usando características originais.

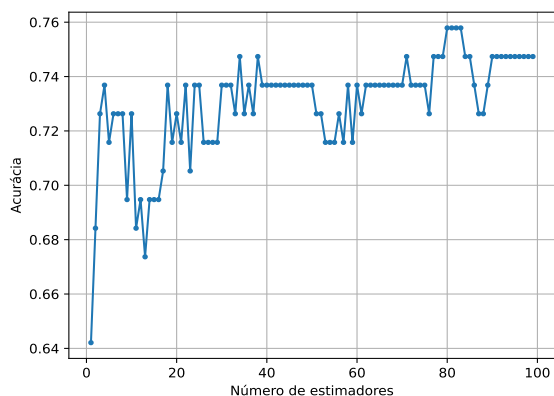


Figura 3: Acurácia por quantidade de estimadores RF usando coeficientes de aproximação de nível 4.

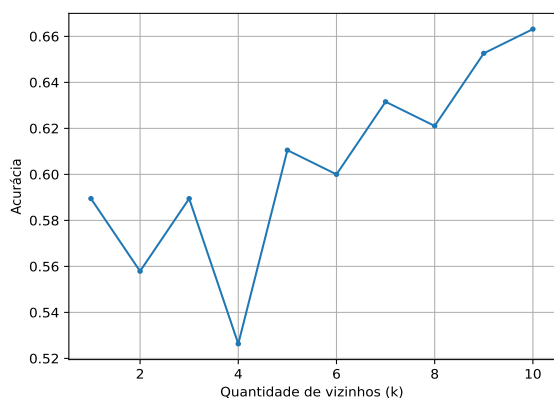


Figura 4: Acurácia por número de vizinhos KNN usando coeficientes de aproximação de nível 4.

Tabela III: Correlações dos coeficientes de aproximação da wavelet por parâmetro

Parâmetro	Correlação de Pearson			
	Coef. 1	Coef. 2	Coef. 3	Coef. 4
Energias	0,2708	0,2919	0,3348	0,3264
MNF	-0,2915	-0,3080	-0,3078	-0,3018
MDF	-0,2909	-0,2937	-0,2572	-0,2995

IV. CONCLUSÃO

Os processamentos realizados indicaram que a TWD não apresentou eficácia satisfatória na extração de características relevantes para a análise de FM. Esse resultado sugere que a escolha da ordem da wavelet e/ou a faixa de frequência determinada pela decomposição wavelet podem não ter sido adequadas para decompor os segmentos do sinal que contém informações significativas relacionadas à FM. Essa limitação pode impactar diretamente a capacidade de discriminar padrões ou a precisão nas classificações subsequentes, apontando para a necessidade de parâmetros mais refinados ou a adoção de técnicas complementares para otimizar a decomposição.

Como perspectivas futuras, planeja-se explorar outras transformadas wavelets (packet e redundante), diferentes famílias além da Daubechies, e modelos de predição mais avançados para aprimorar a análise de FM.

REFERÊNCIAS

- [1] ENOKA, Roger M.; DUCHATEAU, Jacques. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of physiology*, v. 586, n. 1, p. 11-23, 2008.
- [2] SANJAK, M. et al. Quantitative assessment of motor fatigue in amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of the neurological sciences*, v. 191, n. 1-2, p. 55-59, 2001.
- [3] FRIEDMAN, Joseph H. et al. Fatigue in Parkinson's disease: a review. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, v. 22, n. 3, p. 297-308, 2007.
- [4] OLMO, Manuel del; DOMINGO, Rosario. EMG characterization and processing in production engineering. *Materials*, v. 13, n. 24, p. 5815, 2020.
- [5] NAGATA, S. et al. EMG power spectrum as a measure of muscular fatigue at different levels of contraction. *Medical and Biological Engineering and Computing*, v. 28, p. 374-378, 1990.
- [6] PHINYOMARK, Angkoon; PHUKPATTARANONT, Pornchai; LIMSAKUL, Chusak. Feature reduction and selection for EMG signal classification. *Expert systems with applications*, v. 39, n. 8, p. 7420-7431, 2012.
- [7] ARRAIS JÚNIOR, Ernano. Sistema de análise de sinal cardíaco para aplicação em telecardiologia. 2016.
- [8] PHINYOMARK, Angkoon; LIMSAKUL, Chusak; PHUKPATTARANONT, Pornchai. Application of wavelet analysis in EMG feature extraction for pattern classification. *Measurement Science Review*, v. 11, n. 2, p. 45, 2011.
- [9] CERQUEIRA, S.; VILAS-BOAS, R.; FIGUEIREDO, J.; SANTOS, C. A Dataset of sEMG and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis (Version v2) [conjunto de dados]. Zenodo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14182446>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- [10] CERQUEIRA, Sara M. et al. A Comprehensive Dataset of Surface Electromyography and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis. *Sensors*, v. 24, n. 24, p. 8081, 2024.
- [11] UNSER, Michael; ALDROUBI, Akram. A review of wavelets in biomedical applications. *Proceedings of the IEEE*, v. 84, n. 4, p. 626-638, 1996.

Utilização de Algoritmos Genéticos na Montagem de Tabelas de Campeonatos de Futebol

Pablo Fernando Lopes Costa
Bach. em Sistemas de Informação
Univ. Federal do Rio Grande do Norte
Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0009-0005-1955-7057>

Flavius da Luz e Gorgônio
Depto. de Computação e Tecnologia
Univ. Federal do Rio Grande do Norte
Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4926-3990>

Amarildo Jeiele Ferreira de Lucena
Centro de Informática
Univ. Federal de Pernambuco
Recife, PE, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-5980-4204>

Fabrcio Vale de Azevedo Guerra
Depto. de Computação e Tecnologia
Univ. Federal do Rio Grande do Norte
Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-1407-277X>

Francisco Márcio Barboza
Depto. de Computação e Tecnologia
Univ. Federal do Rio Grande do Norte
Caicó, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-1036-6634>

Huliane Medeiros da Silva
Departamento de Engenharias e Tecnologia
Univ. Fed. Rural do Semi-Árido
Pau dos Ferros, RN, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4736-0252>

Resumo—Este artigo explora o uso de algoritmos genéticos para a montagem de tabelas do Campeonato Brasileiro de Futebol, com o objetivo de minimizar as distâncias percorridas pelas equipes e reduzir custos operacionais. Resultados empíricos dos experimentos demonstraram que a abordagem proposta obteve uma redução média de 25,75% na distância total percorrida, quando comparada à tabela oficial da CBF em 2024. Esses resultados evidenciam a viabilidade de uso desta técnica para otimização logística de tabelas em torneios esportivos.

Index Terms—Montagem de tabelas para campeonatos, Campeonato brasileiro de futebol, Algoritmos genéticos.

I. INTRODUÇÃO

O Campeonato Brasileiro de Futebol é o principal torneio entre clubes do futebol brasileiro, tendo iniciado oficialmente em 1971 pela Confederação Brasileira de Futebol (CBF), que é a entidade responsável por reger tal esporte no país. Seu objetivo foi o de integrar os principais clubes do futebol brasileiro em uma única competição, o que não ocorria com os torneios existentes na época.

Em sua primeira edição, em 1971, o torneio foi disputado em três fases com a participação de 20 equipes. Nos anos seguintes, entre 1972 a 2002, foram introduzidas constantes mudanças no que diz respeito aos formatos, regras e número de equipes participantes. A CBF passou a modificar as normas a cada ano, alterando o número de equipes – que variou entre 16 (em 1987) e 97 (em 1979); a forma de divisão das equipes em grupos; o tamanho dos grupos; e o formato dos confrontos – ora havia confrontos entre as equipes do mesmo grupo, ora entre equipes de grupos diferentes. Em decorrência da dificuldade dos torcedores e das próprias equipes compreenderem as regras que eram constantemente alteradas, identificou-se a necessidade de criar um padrão de campeonato que perdurasse ao longo dos anos [1].

Em 2003, com a aprovação do Código do Torcedor [2] e com as exigências impostas aos clubes e à CBF, tal objetivo foi alcançado e um novo modelo de campeonato foi estabelecido,

trazendo simplicidade e organização ao futebol nacional. Esse modelo, denominado Torneio de Pontos Corridos, é composto por dois turnos: no primeiro, todos os participantes jogam entre si, alternando-se o mando de campo sempre que possível. No segundo turno, ocorrem os mesmos confrontos já realizados no primeiro turno, mantendo-se a mesma sequência de jogos, mas com o mando de campo invertido. Em ambos os turnos, o calendário dos jogos é divulgado antes do início do campeonato, podendo haver adiamento dos jogos durante a competição apenas em caso de força maior.

Visando evitar que alguma equipe se beneficie perante as demais, a CBF organiza a tabela de forma que haja alternância no mando de campo, ou seja, se uma equipe A for mandante na rodada x , deverá ser visitante na rodada $x+1$, exceto quando há uma quebra de ciclo (*break*) [3]. Desta forma, é exigido dos clubes um investimento de tempo e dinheiro no que diz respeito a viagens e preparação dos atletas para as diversas partidas a que são submetidos ao longo da temporada.

É importante destacar que algumas equipes cujas sedes não estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste acabam tendo que se deslocar mais do que outras para realizar seus jogos fora de casa. Isso se dá em razão do maior número de equipes das regiões Sul/Sudeste na competição. Por isso, para uma disputa mais justa, é de suma importância organizar calendários de forma a manter um equilíbrio entre as distâncias percorridas por cada equipe e a frequência em que as mesmas viajam.

A montagem de tabelas para campeonatos de pontos corridos, descrita na literatura como sendo um subconjunto do *Traveling Tournament Problem* (TTP), exige que um conjunto de restrições e objetivos seja satisfeito, tais como:

- a necessidade de uma equipe jogar apenas uma vez a cada rodada;
- a necessidade de uma equipe jogar uma única vez em uma data específica, tendo pelo menos 2 dias de repouso antes do próximo jogo;
- a alternância do mando de campo entre as rodadas;

- a impossibilidade de um estádio receber mais de um jogo no mesmo dia;
- entre outras.

Atualmente, a montagem das tabelas busca priorizar a estratégia das equipes jogarem alternadamente como visitantes e mandantes, sendo necessário deslocar-se para atuar como visitante em uma rodada e retornar à sua sede, na sequência, para disputar o jogo seguinte como mandante. Tais deslocamentos causam alguns impactos financeiros, dentre eles, o alto custo financeiro para deslocamento e hospedagem dos atletas e da comissão técnica, uma vez que cabe à CBF, em parceria com as equipes, arcar com diversos custos como transporte, alimentação e hospedagem [4], [5]. Além disso, viagens longas e constantes afetam diretamente o desgaste físico dos atletas, incluindo fatores como a desidratação devido à inalação do ar seco a bordo de aviões, rigidez dos músculos decorrente da inatividade durante o percurso e alterações de humor por causa do cansaço e incertezas associadas às viagens [6], [7].

Uma forma de reduzir os efeitos dessas viagens é montar uma tabela visando minimizar as distâncias percorridas pelas equipes. Porém, essa não é uma tarefa trivial por se tratar de um problema NP-Completo, no qual a quantidade de possibilidades de soluções existentes torna intratável a busca por uma solução ótima a partir da análise exaustiva de todas as possíveis combinações [8]. Por isso, tais problemas são comumente abordados através da utilização de métodos heurísticos, como *simulated annealing*, busca tabu e algoritmos evolutivos [9].

O presente trabalho propõe a utilização de uma meta-heurística evolutiva – denominada algoritmos genéticos – para montagem de tabelas do campeonato brasileiro de futebol, a fim de otimizar a busca por uma solução aceitável, que possa satisfazer as restrições que envolvem a montagem de uma tabela deste campeonato, ao mesmo tempo em que prioriza a redução das distâncias percorridas pelos clubes, visando minimizar os custos com viagens e o desgaste físico dos atletas.

A montagem de tabelas de campeonatos de futebol em nível local, regional, nacional e até internacional é um problema enfrentado por diversas entidades esportivas em todo o mundo, uma vez que envolve diversas questões administrativas e/ou financeiras, o envolvimento das equipes em campeonatos paralelos e a garantia de igualdade de condições para todas as equipes que disputam o campeonato, visando uma competição justa e equilibrada. Por estes motivos, a realização de pesquisas desta natureza se justifica a partir da necessidade de exploração ampla do espaço de busca, a fim de trazer alternativas para a resolução do problema de programação de torneios esportivos de forma mais rápida e eficaz.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: esta seção introdutória apresenta a problematização da pesquisa, os objetivos, a motivação e a justificativa; a seção seguinte traz o referencial teórico, onde são apresentados o problema de programação de torneios esportivos, o conceito de algoritmos genéticos e alguns trabalhos relacionados ao tema. A terceira seção apresenta a abordagem proposta, onde são detalhados

a representação cromossômica, os operadores genéticos, a função de avaliação e o design de um experimento realizado para comparar a distância percorrida pelas equipes entre a abordagem proposta e a tabela utilizada pela CBF em 2024. A quarta seção traz os resultados obtidos no teste realizado e uma discussão sobre as vantagens e limitações da proposta. Por fim, a quinta e última seção apresenta as conclusões obtidas com o experimento e algumas diretrizes para trabalhos futuros.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. O Problema da Programação dos Torneios Esportivos

A montagem de tabelas de campeonatos de futebol, conhecida como *Traveling Tournament Problem*, faz parte da classe de problemas chamada *Sports Scheduling*, cujo objetivo é organizar os confrontos entre equipes, sem repetições, dentro de um campeonato [10]. No caso do Campeonato Brasileiro de Futebol, além dessa restrição básica, há diversas outras, como a alternância de mando de campo, a limitação do número de jogos consecutivos como mandante ou visitante e a obrigatoriedade de que o segundo turno seja um espelho do primeiro.

Seguindo este raciocínio, conforme descrito na seção anterior, este trabalho objetiva montar tabelas que atendam às restrições inerentes ao formato atual do campeonato, acrescentando um item adicional: tentar minimizar as distâncias percorridas pelas equipes, buscando equilibrar essa variável entre todas as equipes participantes do campeonato.

Todas essas restrições fazem da montagem de tabelas para o Campeonato Brasileiro de Futebol um problema altamente complexo, classificado na literatura como NP-Completo. Neste tipo de problema, a quantidade de soluções possíveis cresce exponencialmente com o aumento do número de equipes, tornando a busca exaustiva por uma solução ótima impossível de ser realizada em um período de tempo aceitável [11]. O número de k possíveis soluções de tabelas válidas (ou factíveis) para um turno completo é representado pela Eq. (1):

$$k = (n-1)!(n-3)!(n-5)! \dots (n-(n-1))! 2^{(n-1)\frac{n}{2}} \quad (1)$$

onde n é um número par de participantes. Uma simulação de possíveis valores de k obtidos para diferentes valores de n pode ser vista na Tabela I.

B. Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos (AG) são algoritmos evolutivos inspirados na Teoria da Evolução de Charles Darwin [13] e utilizam-se de técnicas heurísticas em sua busca por soluções promissoras para o problema a ser tratado. Estes algoritmos fazem parte de uma subárea denominada computação bioinspirada, um campo de estudo baseado no comportamento dos seres vivos – sejam eles animais, insetos ou demais organismos vivos [14].

Os algoritmos genéticos são compostos por uma população de cromossomos – indivíduos representativos de possíveis soluções para o problema –, por uma função de avaliação, pelo método de seleção dos indivíduos mais aptos e pelos

Tabela I
NÚMERO DE POSSIBILIDADES DE TABELAS FACTÍVEIS PARA A
COMPOSIÇÃO DE UM TORNEIO COMPLETO

Equipes Participantes	Número de Tabelas Factíveis
2	2
4	384
6	$2,36 \times 10^7$
8	$9,74 \times 10^{14}$
10	$4,63 \times 10^{25}$
12	$3,88 \times 10^{39}$
14	$8,10 \times 10^{56}$
16	$5,69 \times 10^{77}$
18	$1,74 \times 10^{102}$
20	$2,91 \times 10^{130}$

Fonte: Adaptado de [12]

operadores de combinação e de mutação [15]. O fluxo de execução de um AG [16] pode ser visualizado na Figura 1.

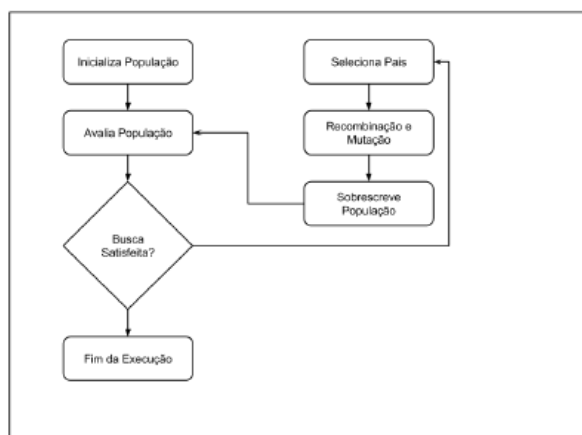


Figura 1. Fluxo de execução de um algoritmo genético.

Em uma abordagem que utilize algoritmos genéticos, populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos: seleção, recombinação (*crossover*) e mutação, onde tais operadores são responsáveis por gerar novos indivíduos como possíveis soluções do problema [16], [17].

C. Trabalhos Relacionados

Em [18] é apresentado um algoritmo de otimização para solucionar o problema de programação de tabelas de campeonatos de futebol em uma competição hipotética de abrangência estadual. A solução propõe a integração do algoritmo Goal-Ufop, que utiliza técnicas de programação inteira para modelar as restrições do problema e encontrar uma solução satisfatória, minimizando a função objetivo. A solução é composta por duas etapas: a utilização de heurísticas para gerar soluções iniciais e um algoritmo fix-and-optimize para melhorar essas soluções. Como resultado, foi gerada uma interface configurável capaz de atender às mais diversas restrições e gerar tabelas válidas e otimizadas.

Em [19], o autor utilizou um algoritmo híbrido baseado em várias heurísticas. Na primeira etapa, utilizou uma solução

de heurística gulosa com grafos para gerar uma solução inicial. Na segunda, utilizou uma heurística de melhor vizinho para deslocar as equipes visitantes. Por fim, utilizou uma heurística de seleção aleatória, que funciona de forma idêntica ao método anterior, mas utilizando um vetor de busca gerado aleatoriamente, a fim de randomizar os vértices mais próximos. Como resultado, foi feita a comparação das soluções geradas em cada heurística, mostrando que ao aplicar a heurística de melhor vizinho sobre a solução gerada pela heurística gulosa, melhorou em 20% a solução e ao aplicar a heurística de melhor vizinho por seleção aleatória sobre a solução anterior, melhorou mais 22%.

Em [20], os autores propuseram um algoritmo baseado em fator de aproximação como solução para o problema de programação de torneios esportivos. O algoritmo consiste em utilizar a abordagem da teoria dos grafos para obter o melhor fator de aproximação para o problema, onde as equipes são referidas como vértices e as distâncias entre os locais das partidas são referidas como pesos das arestas do grafo. Como resultado, o algoritmo reduziu em 15% a distância percorrida em comparação com o calendário real do Campeonato Indiano de Futebol (Indian Premier League - IPL).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Representação Cromossômica

Para fins de representação da estrutura cromossômica utilizada na solução proposta, considere-se um campeonato envolvendo $n = 4$ equipes, conforme (Tabela II). Neste cenário, são consideradas as seguintes proposições:

- cada tabela-solução consiste em dois turnos;
- cada turno é composto por 3 rodadas;
- cada rodada possui 2 jogos (ou partidas);
- em cada partida se enfrentam 2 equipes;
- cada equipe é representada por um mesmo valor numérico ao longo do campeonato.

Tabela II
REPRESENTAÇÃO DAS EQUIPES

Equipes			
1	2	3	4

Cada partida do campeonato é representada por um vetor de duas posições, onde a primeira posição indica a equipe que joga em casa (mandante) e a segunda posição representa a equipe que joga fora de casa (visitante), conforme a Figura 2.

Equipe Mandante	Equipe Visitante
1	2

Figura 2. Representação de uma partida de futebol

Cada rodada é representada por um vetor de $n/2$ posições, sendo n o número de equipes. Dentro deste vetor, estão

representadas todas as partidas daquela determinada rodada, sendo que cada posição do vetor representa uma partida, como ilustrado na Figura 3.

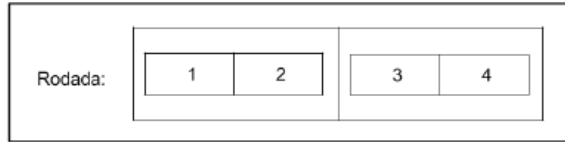


Figura 3. Representação de uma rodada campeonato de futebol

Por fim, em um campeonato de pontos corridos que é dividido em dois turnos, o segundo é o espelho do primeiro. Por isso, apenas o primeiro turno será representado dentro do modelo, já que o outro turno pode ser facilmente gerado invertendo-se os mandos de campo. Desta forma, uma tabela-solução corresponde a um objeto composto por $n - 1$ rodadas, sendo n o número de equipes, conforme Figura 4.

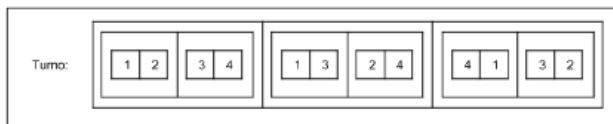


Figura 4. Representação de um turno de campeonato de futebol

B. População Inicial

A inicialização de uma população deve ser a mais simples possível [21], para isso foi gerada uma solução padrão válida de forma aleatória. A partir da solução padrão, são criados novos indivíduos aplicando-se uma série de permutas aleatórias: escolhe-se uma equipe A e uma equipe B e faz-se a permuta dessas em todas as ocorrências, como descrito na Figura 5, com o objetivo de gerar indivíduos diferenciados.

C. Função de Avaliação

Quando um indivíduo é gerado, é necessário atribuir ao mesmo um valor de aptidão que é utilizado como parâmetro de seleção desses indivíduos. Esta aptidão foi calculada a partir da função de avaliação dada pela soma de: a) distâncias percorridas pelas equipes em cada jogo; b) pelas punições aplicadas ao indivíduo quando uma ou mais equipes jogam uma sequência de três ou mais jogos como mandante ou visitante.

O objetivo da pesquisa é diminuir as distâncias percorridas pelas equipes, caracterizando-se como um problema de otimização do tipo minimização. Porém, para efeito de simplificação dos valores envolvidos, a avaliação atribuída aos indivíduos é dada por $\frac{1}{F(x)}$, sendo $F(x)$ a função de avaliação representada pela Equação (2).

$$F(x) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{o-1} D_{L_{S_{ij}k}} S_{ij0} + (p * q) \quad (2)$$

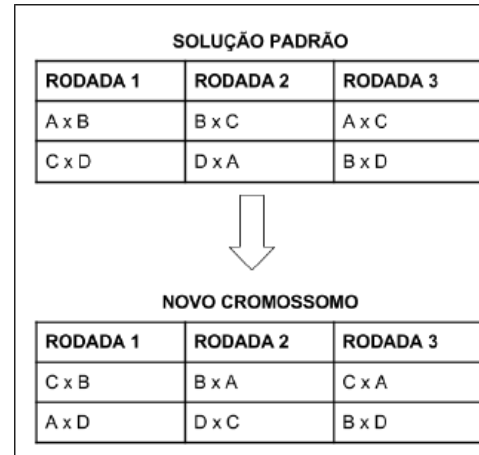


Figura 5. Exemplo de uma permuta entre a equipe A e a equipe C na geração de um novo indivíduo para compor a população inicial.

onde:

D é a matriz de distância entre as equipes; L é o vetor de localização atual das equipes; S é a solução proposta; n é o número de rodadas; m é o número de jogos em uma rodada; o é o número de equipes em um jogo; p é a punição por infringir regras; q é a quantidade de vezes em que houve infração das regras.

Desta forma, quanto maior a avaliação atribuída, menor é a distância percorrida pelas equipes e, consequentemente, o indivíduo é mais apto à resolução do problema.

D. Seleção dos Pais

O método utilizado para selecionar os pais para gerar novos indivíduos foi o método da roleta, semelhante ao descrito em [21]. Porém, foi utilizada a atribuição acumulativa para determinar a fatia dada a cada indivíduo. Um exemplo de aplicação desse método pode ser visto na Figura 6.

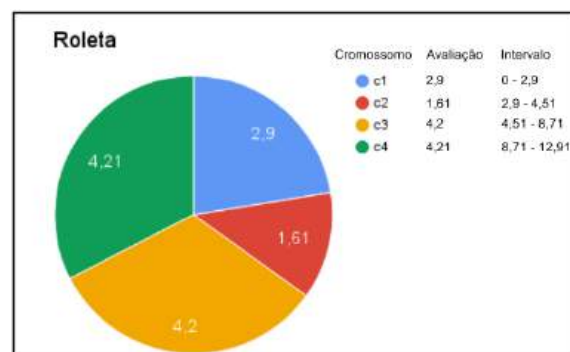


Figura 6. Exemplo de atribuição acumulativa

Para selecionar um pai, foi sorteado um valor $x \in \mathbb{R}$, no intervalo $[0, s]$, onde s é a soma da avaliação de todos os indivíduos da população. O indivíduo sorteado é aquele cujo

valor de x corresponde ao intervalo onde este se encontra, como pode ser visto na Tabela III.

Tabela III
REPRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO DE SORTEIO DOS PAIS (EQUIPES)

Número Sorteado	Cromossomo Escolhido
12,65	c4
5,42	c3
6,97	c3
2,32	c1

Fonte: O autor

E. Operadores Genéticos

A seguir serão apresentados o operador de cruzamento (*crossover*) e o operador de mutação que foram utilizados pelo algoritmo genético para gerar novos indivíduos.

1) *Cruzamento*: Devido à necessidade de preservar a integridade das tabelas, para que não sejam geradas tabelas nas quais as regras do campeonato sejam violadas (infactíveis), optou-se por utilizar o conceito de reprodução assexuada, onde um indivíduo se reproduz sem a presença de um parceiro. Para isso, este cruzamento utilizou 2 pontos de corte escolhidos de forma aleatória e as rodadas entre o primeiro e o segundo ponto de corte foram embaralhadas de forma também aleatória, como pode ser visto na Figura 7.

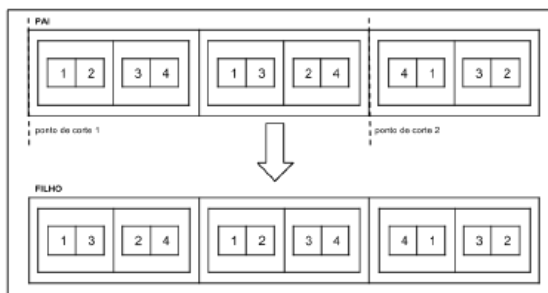


Figura 7. Exemplo de um operador de cruzamento com 2 pontos de corte

2) *Mutação*: O operador utilizado foi a mutação em ordem, que consiste na permuta entre uma equipe A e uma equipe B, escolhidas de forma aleatória. A permuta é então realizada em todas as ocorrências no indivíduo que foi selecionado para sofrer mutação, como pode ser visto na Figura 8.

F. Design do Experimento

Para fins de verificação do desempenho, foi realizado um teste comparativo entre a solução proposta, que utiliza algoritmos genéticos, e a solução padrão adotada para a montagem da tabela do Campeonato Brasileiro de Futebol - Série A, criada pela CBF para o ano de 2024, onde as equipes percorreram ao todo 769.450 Km ao longo do campeonato.

Após análise preliminar, o algoritmo foi executado 30 vezes, utilizando diferentes configurações de parâmetros, incluindo:

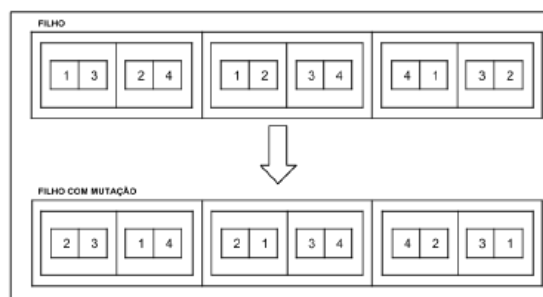


Figura 8. Aplicação do operador de mutação em um cromossomo selecionado, permutando-se os jogos entre a equipe 1 e a equipe 2.

1) *População inicial*: foi definida com tamanho 1000, valor que ofereceu melhor equilíbrio entre diversidade populacional e eficiência computacional. Tamanhos menores levaram a uma convergência prematura, restringindo a busca por alternativas potencialmente melhores, e tamanhos maiores não geraram melhorias significativas na qualidade da solução final e aumentaram consideravelmente o custo computacional;

2) *Mutação*: os melhores resultados foram obtidos com taxa de mutação de 5%, equilibrando a introdução de diversidade genética no processo evolutivo e a estabilidade necessária para a convergência das soluções;

3) *Número de gerações*: foram realizadas 5 execuções para cada conjunto de parâmetros, resultando em 30 execuções.

A cada execução, foi obtida uma tabela-solução completa para o campeonato, acompanhada da sua avaliação e da soma das distâncias percorridas pelas equipes. Para análise dos resultados obtidos, foram utilizadas a distância total média e o desvio-padrão dos resultados do algoritmo, que foram comparados à solução proposta pela CBF (Tabela IV).

Para desenvolvimento da solução proposta e realização dos testes, foi utilizado um computador com processador Core i7 11700K com 4.9GHz turbo e 16MB cache, 128GB de memória RAM sob um sistema operacional Windows, sendo que o algoritmo foi executado 5 vezes para cada conjunto de parâmetros.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a qualidade da solução proposta em um cenário real, foi considerada a distância total percorrida pelas equipes do Campeonato Brasileiro de Futebol no ano de 2024. Os valores de distâncias percorridas obtidos pela solução gerada a partir da abordagem proposta neste trabalho, com diferentes configurações do algoritmo (número de gerações de população), foram confrontados com a tabela oficial da Série A elaborada pela CBF. A escolha do ano de 2024 se deu pelo fato de serem os dados mais recentes da competição, o que facilitou a obtenção de informações acerca dos jogos disputados e dos respectivos locais de ocorrência dos jogos.

Os resultados obtidos, apresentados na Tabela IV, demonstram uma redução considerável na distância total percorrida pelas equipes, superando os resultados descritos em trabalhos

semelhantes como [19] e [20]. Foram obtidas reduções de mais de 23% na distância percorrida para todas as configurações testadas (ou seja, com diferentes números de gerações), demonstrando a estabilidade da solução proposta.

Uma crítica comumente atribuída ao uso de algoritmos genéticos é o alto custo computacional de sua utilização, devido ao tempo de processamento necessário para se obter boas soluções. Entretanto, como pode ser observado nos resultados apresentados, foi possível obter resultados confiáveis mesmo com baixo número de gerações. Para fins de comparação com outras propostas, a estratégia apresentada produz uma tabela-solução com 100 gerações em cerca de 40 minutos, o que reforça a viabilidade da solução proposta.

Tabela IV
DISTÂNCIA TOTAL A SER PERCORRIDA PELAS EQUIPES (EM KM), PARA AS TABELAS PROPOSTAS

Nº de Gerações	Distância Total Percorrida pelas Equipes (Km)		
	Dist. Média (Km)	Desvio-padrão (Km)	Redução ^a (%)
100	549.555,20	21.847,71	28,58%
200	573.982,00	17.266,98	25,40%
300	582.160,00	24.391,03	24,34%
400	564.120,80	23.226,87	26,69%
500	587.064,40	16.171,63	23,70%
1000	571.176,40	17.748,33	25,77%

^aEm relação à distância total (em Km) percorrida pelas equipes em 2024.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo abordou o problema da elaboração de tabelas para campeonatos de futebol, utilizando uma abordagem heurística baseada em algoritmos genéticos. O principal objetivo dessa metodologia foi minimizar as distâncias percorridas pelas equipes, reduzindo os custos financeiros associados aos deslocamentos e o desgaste físico dos atletas.

A aplicação da abordagem proposta ao cenário do Campeonato Brasileiro Série A - 2024 resultou na geração de 30 propostas alternativas de tabelas que foram analisadas com base na distância total que seria percorrida pelas equipes caso tivessem sido adotadas, em comparação com a distância efetivamente percorrida ao longo da competição naquele ano. A abordagem proposta obteve uma redução média de 198.106,87 Km nos deslocamentos, correspondendo a uma diminuição de 25,75% na distância total percorrida.

Embora a pesquisa tenha sido desenvolvida especificamente para o Campeonato Brasileiro de Futebol da Série A, no formato atual de pontos corridos, a metodologia pode ser adaptada para outras competições com características semelhantes, como a Série B, que adota formato e regras análogas.

Cabe destacar, entretanto, que algumas restrições logísticas e de segurança da competição não foram contempladas nesta etapa inicial, mas poderão ser incorporadas em estudos futuros. Dentre essas restrições, destacam-se: i) a necessidade de evitar a realização de clássicos — jogos entre equipes de maior rivalidade — em dias úteis, quando a oferta de transporte é reduzida e as partidas se encerram após as 23h; ii) a prevenção da ocorrência de dois clássicos na mesma cidade e na mesma data, por razões de segurança; e iii) a

minimização da sequência de clássicos consecutivos, fator que pode intensificar o desgaste psicológico dos jogadores devido às pressões inerentes a esses confrontos.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Assaf, História Completa do Brasileiro - 1971/2009. Rio de Janeiro, RJ: Lance Publicações, 2009.
- [2] Brasil, "Lei n. 10.671 Dispõe sobre o Estatuto de Defesa do Torcedor e dá outras providências," Brasília, DF.
- [3] D. Goossens, J. Beliën, "Teaching Integer Programming by Scheduling the Belgian Soccer League," *INFORMS Transactions on Education*, vol. 23, no. 3, pp. 164–172, May 2022, <https://doi.org/10.1287/ited.2022.0269>.
- [4] A. S. Krupp, A. O. Souza, "Contabilidade esportiva: ênfase ao faturamento dos clubes de futebol," *Revista Eletrônica de Ciências Contábeis*, vol. 9, pp. 26–54, Dez, 2016.
- [5] M. B. Guimarães, A. M. Oliveira, P. B. Paoli, A prospecção do talento no futebol brasileiro: diagnóstico estrutural e financeiro do processo de captação de atletas. Curitiba, PR: Editora Appris, 2020.
- [6] D. C. Jance Van Rensburg, A. Janse Van Rensburg, P. M. Fowler, et al, "Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement," *Sports Med*, vol. 51, pp. 2029–2050, Jul, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01502-0>.
- [7] D. Touguinhó, M. Robalinho, C. Andrade, F. Vasconcellos, "A influência das distâncias viajadas nos indicadores de performance das equipes do campeonato brasileiro série A nas temporadas 2015-2019," *Motricidade*, vol. 19, n. 1, pp. 12–21, 2023, <https://doi.org/10.6063/motricidade.26867>.
- [8] S. Bendayan, The Traveling Tournament Problem, Waterloo, ON, Canadá: University of Waterloo, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10012/18553>.
- [9] A. J. T. Maciel Filho, Aplicação de uma meta-heurística para o problema de alocação de jogos do campeonato brasileiro de futebol, João Monlevade, MG, Brasil: UFOP, 2017. [Online]. Available: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/391>.
- [10] C. C. Ribeiro, S. Urrutia, D. de Werra, Combinatorial Models for Scheduling Sports Tournaments, 1ª ed., Cham, Zug, Suíça: Ed. Springer, 2023.
- [11] S. Russel, P. Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed., Hoboken, NJ: Pearson, 2021.
- [12] R. Concílio, F. J. Von Zuben, "Uma abordagem evolutiva para geração automática de turnos completos em torneios," *Sba Controle e Automação*, vol. 13, n.2, pp.105–122. Ago, 2002, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592002000200003>.
- [13] C. R. Darwin. On the origin of species., Londres: John Murray, 1859.
- [14] P. S. Game, V. Vaze, M. Emmanuel, "Bio-inspired Optimization: metaheuristic algorithms for optimization," *Neural and Evolutionary Computing*, pp. 1–9, Jan, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.11637>.
- [15] J. H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- [16] J. R. Koza, Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection Cambridge, MA: MIT Press, 1992.
- [17] D. A. F. Schmiele, Algoritmos genéticos aplicados à análise estratégica de jogos de tabuleiro, Patos de Minas, MG, Brasil: UFU, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/39855>.
- [18] A. B. Teotônio, Sistema web para programação de tabelas de competições esportivas, João Monlevade, MG, Brasil: UFOP, 2023. [Online]. Available: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5450>.
- [19] H. R. M. Pereira, Otimização de rotas através de heurísticas aplicadas a uma competição esportiva, Ponta Grossa, PR, Brasil: UTFPR, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29063>.
- [20] D. Chatterjee, R. Bimal, "An Improved Scheduling Algorithm for Traveling Tournament Problem with Maximum Trip Length Two," *Symposium on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems*, vol. 96, no. 21, pp. 16:1–16:15, Set 2021, <https://doi.org/10.4230/OASIS.ATMOS.2021.16>.
- [21] R. Linden, Algoritmos Genéticos, 3ª ed., Rio de Janeiro, RJ: Ed. Ciência Moderna Ltda., 2012.

Solução IoT Modularizada para Salas de Aula

João Emanuel C. G. Silva
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
emanuel.candido@escolar.ifrn.edu.br

José Pedro Barcelos Nascimento de Souza
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
jose.barcelos@escolar.ifrn.edu.br

Igor Gabriel D. Rocha
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
d.igor@escolar.ifrn.edu.br

Thales Adriel S. de Araújo
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
thales.adriel@escolar.ifrn.edu.br

Danilo Cortez Gomes
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
danilo.cortez@escolar.ifrn.edu.br

Andouglas G. Silva Júnior
*Federal Institute of Rio Grande do
Norte - IFRN*
Currais Novos, Brazil
andouglas.silva@escolar.ifrn.edu.br

Abstract—The integration of Internet of Things (IoT) technologies in educational environments has enabled significant advancements in security, automation, and energy efficiency. This work presents the development of an system for access control and automation in academic spaces, focusing on laboratories and classrooms. The proposed solution integrates RFID-based authentication for secure access management and independent automation modules for controlling devices such as lighting, air conditioning, and projectors.

Index Terms—Internet of Things, Automation, Education.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a integração de IoT tem modernizado ambientes educacionais, aumentando eficiência, segurança e comodidade. Esses avanços são especialmente relevantes em laboratórios e salas de aula, onde a gestão de dispositivos e o controle de acesso exigem soluções ágeis. Projetos que unem automação, conectividade e segurança tornam-se essenciais para otimizar recursos e promover sustentabilidade.

O gerenciamento de dispositivos em ambientes educacionais, como ar-condicionado, projetores e iluminação, enfrenta desafios como falta de centralização e dependência de processos manuais. Além disso, o controle de acesso a laboratórios, baseado em chaves físicas ou métodos isolados, compromete a segurança e rastreabilidade. Para solucionar esses problemas, propõe-se um sistema que integra automação e controle de acesso via RFID, simplificando operações, reduzindo custos e aumentando a segurança.

Este trabalho apresenta um protótipo baseado em microcontroladores ESP32/ESP01 e comunicação MQTT para integrar módulos de automação e controle de acesso. A solução utiliza uma sistema de acesso adaptada para validar credenciais via RFID e acionar trancas magnéticas. Além disso, módulos autônomos permitem o controle remoto de dispositivos em sala de aula, operando mesmo em condições de instabilidade energética com alimentação por bateria.

Ao integrar IoT, automação e segurança, este trabalho aborda desafios na gestão de ambientes educacionais e explora a viabilidade de soluções acessíveis e eficientes. A combinação

de hardware modular, protocolos de comunicação robustos e interfaces intuitivas destaca a tecnologia como aliada na criação de espaços acadêmicos mais seguros, sustentáveis e adaptados às demandas atuais.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Sala de Aula em conjunto com tecnologia IoT é um conceito emergente na tecnologia educacional que utiliza dispositivos da Internet das Coisas (IoT) para criar um ambiente de aprendizado interativo e orientado por dados. Essas salas de aula utilizam dispositivos interconectados, sensores e sistemas para aprimorar tanto o processo de ensino quanto a experiência de aprendizagem, permitindo o aprendizado personalizado, monitoramento remoto e gestão eficiente da sala de aula [1]. Neste contexto, discutiremos os conceitos centrais que formam a base das salas de aula modernas, como sistemas baseados em IoT, computação em nuvem e protocolos de comunicação como MQTT, que desempenham um papel crucial na transmissão de dados e no controle dentro desses ambientes.

A. Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede de dispositivos interconectados que permite a coleta, troca e processamento de dados para apoiar a automação e melhorar a capacidade de tomada de decisões. As soluções IoT são frequentemente projetadas utilizando uma arquitetura em camadas, que estrutura o sistema em quatro camadas principais, cada uma com um propósito distinto: Percepção, responsável pela coleta de dados brutos por meio de sensores e atuadores; Rede, que garante a transmissão de dados para as camadas superiores, usando protocolos como Wi-Fi e Bluetooth; Suporte, Gerencia o processamento e armazenamento dos dados coletados, utilizando plataformas em nuvem e bancos de dados e Aplicação, onde os dados processados são apresentados aos usuários, tipicamente por meio de interfaces intuitivas, como painéis ou aplicativos móveis. Essa arquitetura em camadas garante que o sistema seja modular, escalável e capaz de gerenciar eficientemente os

fluxos de dados desde os dispositivos sensores até os usuários finais.

B. Microcontroladores

Os microcontroladores são dispositivos fundamentais em sistemas embarcados, permitindo a integração de processador, memória e periféricos em um único chip. Eles são amplamente utilizados em aplicações como automação industrial, Internet das Coisas (IoT), veículos autônomos e dispositivos médicos, proporcionando controle eficiente e respostas em tempo real. Devido à sua versatilidade e baixo consumo energético, os microcontroladores modernos são projetados para lidar com tarefas cada vez mais complexas e interconectadas. A crescente adoção desses dispositivos reflete sua importância para o avanço tecnológico em diversos setores [2].

Para aplicações conectadas, microcontroladores como o ESP32 integram módulos de Wi-Fi e Bluetooth, permitindo comunicação sem fio e conectividade direta com a nuvem. Essa funcionalidade é essencial para sistemas IoT, em que dispositivos precisam enviar dados para servidores remotos para processamento e tomada de decisão.

C. MQTT Protocol

O protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é amplamente utilizado em sistemas IoT devido à sua leveza e eficiência, especialmente quando é necessário transmitir dados em tempo real entre dispositivos. Ele adota o modelo de publicação/assinatura, o que permite uma comunicação rápida e com baixo consumo de largura de banda. Essa característica é fundamental em aplicações de monitoramento contínuo, como as que envolvem sensores IoT.

Além disso, um estudo recente [3] enfatiza as vantagens do MQTT em sistemas IoT, como a capacidade de proporcionar comunicação escalável e eficiente. Essas características fazem do MQTT uma escolha excelente para aplicações de monitoramento, onde a coleta e transmissão de dados em tempo real são essenciais para garantir a eficácia dos sistemas.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, apresentamos os trabalhos usados como base para o desenvolvimento do sistema de salas de aula com dispositivos IoT, detalhando as principais abordagens e tecnologias que fundamentam a proposta. Esses estudos abordam conceitos e soluções relacionadas à integração de dispositivos IoT nas salas de aula, utilização de microcontroladores para automação, sensores para monitoramento em tempo real, e plataformas de comunicação eficientes.

A. Sistema de Automação de Sala de Aula Inteligente com MQTT

Em [4] é proposto a automação de salas de aula de forma inteligente utilizando sensores IoT para controle ambiental e monitoramento de atividades, utilizando a plataforma Favoriot e Node-RED para comunicação e análise via MQTT. Enquanto (Mohamed, Abdulsalan Abdulkadir. 2024) foca na automação do ambiente para facilitar o aprendizado, este

estudo integra também um sistema de controle de acesso via RFID, garantindo maior segurança e gestão eficiente dos espaços. Além disso, ao invés de Favoriot e Node-RED, a solução proposta utiliza microcontroladores ESP32 e ESP01 com MQTT, oferecendo uma infraestrutura modular e de baixo custo para automação e controle de acesso [4].

B. Modelo Proposto para Universidade Inteligente

O estudo de (OUGHANNOU, ZAHRA. 2024) propõe um modelo de universidade inteligente, focado na otimização térmica das salas de aula por meio de IoT e lógica difusa, utilizando sensores para monitoramento e ajuste automático do ambiente. Enquanto esse trabalho prioriza a climatização, o presente estudo adota uma abordagem mais ampla, integrando automação e controle de acesso via RFID. Além do gerenciamento energético de dispositivos como iluminação e ar-condicionado, a solução emprega microcontroladores ESP32 e comunicação via MQTT, diferindo da abordagem baseada em lógica difusa de (OUGHANNOU, ZAHRA. 2024). Isso demonstra a versatilidade do sistema proposto, que alia conforto, segurança e eficiência operacional [5].

IV. O SISTEMA PROPOSTO

A Figura 1 apresenta a arquitetura do sistema proposto. A solução integra diversos dispositivos IoT para gerenciar tanto o controle de acesso quanto a automação de equipamentos em ambientes acadêmicos. Sensores RFID são utilizados para autenticação de usuários, enquanto módulos de automação permitem o acionamento remoto de dispositivos como iluminação, projetores e ar-condicionado.

Os dados coletados pelos sensores e comandos da interface web são transmitidos ao broker MQTT por meio de tópicos específicos, garantindo comunicação eficiente entre os módulos do sistema. No lado do servidor, essas informações são processadas para validar credenciais, registrar acessos e interpretar comandos de automação. O sistema também permite o monitoramento remoto, registrando eventos e possibilitando ajustes conforme a necessidade dos usuários.

Além do controle de acesso, módulos dedicados possibilitam o gerenciamento energético, permitindo que dispositivos sejam ativados ou desativados automaticamente de acordo com horários programados ou detecção de presença. Isso contribui para a eficiência operacional, reduzindo o desperdício de energia e garantindo um ambiente mais sustentável. Todos esses componentes serão explicados em detalhes nas seções a seguir.

A. Sensores

O dispositivo sensor do sistema é responsável pela autenticação dos usuários e pela coleta de dados essenciais para o controle de acesso e a automação do ambiente. Ele é composto por um leitor RFID RC522, que permite a leitura de cartões e tags de identificação, e um microcontrolador ESP32, que gerencia a comunicação com o servidor via broker MQTT. Ao detectar um cartão RFID, o dispositivo envia a credencial lida ao servidor para validação. Caso a entrada seja

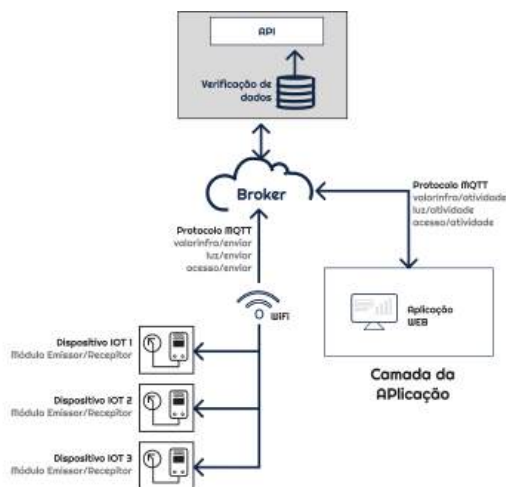


Fig. 1. Arquitetura proposta para o sistema.

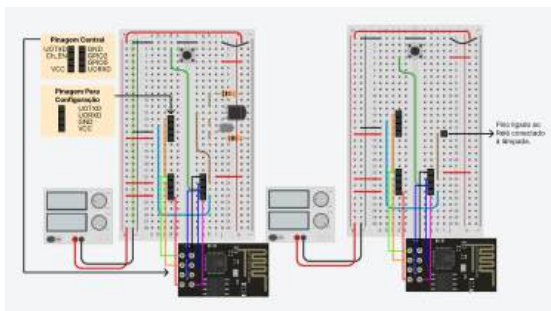


Fig. 2. Circuito referente ao Módulo de iluminação e Módulo de controle de dispositivos infravermelho.

autorizada, o sistema aciona a tranca magnética e registra o evento no banco de dados. Além disso, um LED indicador e um buzzer são empregados para fornecer feedback visual e sonoro ao usuário sobre o status da autenticação. O sensor opera de forma contínua, sendo alimentado por uma fonte de energia convencional ou por bateria recarregável, garantindo funcionamento mesmo em condições de instabilidade elétrica.

B. Atuadores

Os atuadores desempenham um papel fundamental na automação do ambiente acadêmico, permitindo o controle remoto de dispositivos essenciais, como iluminação, ar-condicionado e projetores. Cada atuador é composto por um ESP01 conectado a um módulo de relé ou emissor infravermelho (IR), dependendo do tipo de dispositivo a ser acionado. Os comandos de automação são enviados pela interface web e transmitidos ao broker MQTT, onde os atuadores inscritos nos tópicos correspondentes executam as ações recebidas. Dessa forma, o sistema permite o gerenciamento eficiente do consumo energético, possibilitando o desligamento automático de equipamentos fora do horário de uso. Além disso, sensores de presença podem ser integrados para ativação dinâmica dos

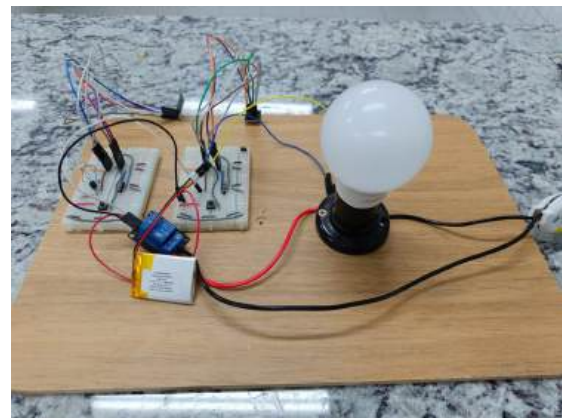


Fig. 3. Protótipo do Módulo de iluminação e Módulo de controle de dispositivos infravermelho.

dispositivos, otimizando ainda mais a automação e reduzindo desperdícios.

C. Módulos

O sistema é modular, composto por diferentes dispositivos IoT distribuídos conforme as necessidades de cada ambiente. Os módulos principais incluem: módulo de controle de acesso, que integra ESP32, leitor RFID e relé para gerenciamento das fechaduras eletrônicas, e módulo de automação de dispositivos, equipado com ESP01 e atuadores (relés ou emissores IR) para controle de iluminação ou outros dispositivos que estejam conectados ao infravermelho, presente na Figura 3. Cada módulo funciona de maneira independente, mas é integrado ao sistema centralizado via protocolo MQTT, permitindo escalabilidade e flexibilidade no gerenciamento dos dispositivos conectados.

D. Interface Web

A interface web é a principal ferramenta de interação do usuário com o sistema, permitindo o gerenciamento de acessos, a visualização de logs e o controle remoto dos dispositivos automatizados. A autenticação de administradores é realizada por meio de credenciais seguras, garantindo o acesso apenas a usuários autorizados. No painel principal, são exibidas informações em tempo real sobre o status dos dispositivos, registros de acesso e comandos de automação disponíveis. A interface se comunica com o servidor por meio de requisições HTTP e troca de mensagens MQTT, garantindo um fluxo de dados eficiente e permitindo uma gestão simplificada e eficaz dos ambientes acadêmicos.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora nem todas as funcionalidades previstas tenham sido completamente implementadas, foi possível projetar e desenvolver grande parte do sistema, resultando em um protótipo funcional capaz de realizar as comunicações essenciais e maior parte das funcionalidades propostas. Esse protótipo serve como

base sólida para futuras melhorias e para a construção de uma versão mais robusta do projeto.

O dispositivo é capaz de se conectar a um Broker MQTT, permitindo o recebimento de comandos para controle remoto, como ligar ou desligar a iluminação de uma sala específica, selecionada diretamente na aplicação web desenvolvida para o projeto. Além disso, é possível ajustar o ar-condicionado, com opções para aumentar ou reduzir a temperatura, proporcionando maior comodidade e controle do ambiente.

Apesar de não ter sido amplamente testado em ambiente de sala de aula, os testes realizados demonstraram a eficiência da solução, trazendo agilidade no controle dos dispositivos e destacando a simplicidade de uso da tecnologia desenvolvida. Essa facilidade de interação contribui para uma melhor experiência do usuário, facilitando a adoção da ferramenta no ambiente educacional.

O sistema de acesso também se conecta a um Broker MQTT, com a capacidade de enviar dados para validação. A entrada é autorizada ou negada a partir da verificação das informações da chave RFID no banco de dados. Além disso, a aplicação web permite habilitar ou desabilitar o acesso remotamente, proporcionando maior flexibilidade e segurança.

Assim, o projeto desenvolvido tem potencial para se transformar em uma solução completa e eficiente, auxiliando na gestão dos dispositivos da sala de aula e proporcionando mais agilidade aos usuários. Além disso, o sistema de acesso agrega segurança aos laboratórios, facilitando o gerenciamento do acesso pelos responsáveis e garantindo maior controle sobre o ambiente.

VI. CONCLUSÃO

A integração da Internet das Coisas (IoT) no ambiente educacional impulsiona a transformação e o aprimoramento de setores como segurança e gestão em sala de aula. A utilização de microcontroladores para gerenciar dispositivos torna a administração do ambiente mais moderna e eficiente, substituindo atividades manuais por operações remotas e acessíveis por meio de uma interface web. Com o uso de tecnologias de comunicação, baterias para eficiência energética e dispositivos organizados em módulos para otimizar a conectividade, a solução melhora a experiência do usuário e agiliza processos. Esse projeto tem o potencial de tornar mais dinâmico um ambiente educacional, tornando-se uma alternativa interessante e eficiente para a gestão escolar.

Atualmente estão sendo desenvolvidos o projeto de placas PCB para cada um dos módulos, de forma a deixar o protótipo mais robusto e apto para instalação nos ambientes de utilização. Além disso, no futuro, serão implementadas melhorias que sejam mais adequadas à solução, assim como a otimização na aplicação web para torná-la mais leve e responsiva. O projeto também busca atender a diferentes cenários, com ajustes no dispositivo para torná-lo mais adaptável. Outro foco será a configuração de novas medidas de segurança, aumentando sua eficiência contra ataques e aprimorando a experiência do usuário. Com essas mudanças, a solução terá maior segurança, simplicidade no uso e um design discreto, proporcionando

mais conforto ao usuário. Por fim, o projeto demonstra como a tecnologia IoT pode auxiliar a gestão escolar, tornando atividades cotidianas mais céleres e eficientes.

REFERENCES

- [1] O. Ojo, M. K. Kareem, S. Odunuyi, and C. Ugwunna, "An internet-of-things based real-time monitoring system for smart classroom," in *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, no. 1, pp. 297–309, 2022.
- [2] J. C. R. dos Santos and A. L. da Silva, "Gerenciamento de dados coletados de sensores iot utilizando computação em nuvem," *Editora Científica*, 2023.
- [3] M. A. Spohn, "On mqtt scalability in the internet of things: issues, solutions, and future directions," *Journal of Electronics and Electrical Engineering*, pp. 4–4, 2022.
- [4] A. A. Mohamed, M. M. Ahmed, A. A. Ali, and A. A. Afwah, "Smart classroom automation system," 2024.
- [5] Z. OUGHANNOU, I. KANDROUCH, N. Chaoui, H. CHAOUI, and S. BOUREKKADI, "Proposed smart university model: The integration of iot and fuzzy logic in smart classroom for optimizing thermal comfort," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 102, no. 2, 2024.

Inovação na Agricultura: Monitoramento da Maturidade de Melão com Tecnologia RFID

1st Dhioleno Rodrigues da Silva
CITED - Centro Integrado de Inovação
Tecnológica do Semiárido
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró, Rio grande do Norte
dhioleno.silva@alunos.ufersa.edu.br

Coorientador: Prof. Dr. Reuber Regis
de Melo
Universidade Federal do Ceará -
UFRSA
Mossoró, Rio grande do Norte
reuber.regis@ufc.br

Orientador: Prof. Dr. idalmir de s ouza
queiroz júnior
CITED - Centro Integrado de Inovação
Tecnológica do Semiárido
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró, Rio grande do Norte
idalmir@ufersa.edu.br

Resumo — Este trabalho investiga a aplicação de tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) para monitorar a umidade em melões, uma prática essencial para garantir a qualidade e minimizar desperdícios na pós-colheita. O uso de sensores RFID permite a avaliação não invasiva da maturidade das frutas, proporcionando informações em tempo real que podem influenciar decisões críticas de irrigação e aplicação de fertilizantes. A pesquisa também aborda a integração da Internet das Coisas (IoT) na agricultura, destacando como a interconexão de dispositivos pode otimizar processos logísticos e de gestão. Os resultados preliminares indicam que, apesar das instabilidades nas leituras do sinal RSSI, a tecnologia tem um imenso potencial para modernizar a agricultura, contribuir para a sustentabilidade e garantir melhor qualidade dos produtos.

Palavras chaves — *RFID, IoT, Monitoramento, Agricultura sustentável.*

I. INTRODUCTION (HEADING 1)

A qualidade pós-colheita dos frutos é um fator determinante para a competitividade do setor agrícola, especialmente em culturas sensíveis como o melão. O monitoramento da umidade dessas frutas desempenha um papel crucial na redução de perdas, na melhoria da conservação e no aumento da eficiência logística. Tradicionalmente, a avaliação da maturidade e umidade do melão é realizada por métodos invasivos, que frequentemente resultam em desperdício e não permitem um acompanhamento em tempo real do produto ao longo da cadeia de suprimentos [1].

Diante dessa limitação, tecnologias emergentes como a Identificação por Radiofrequência (RFID, do inglês Radio Frequency Identification) têm ganhado destaque na agricultura de precisão. O RFID é amplamente utilizado para rastreamento e gestão de ativos, mas seu potencial na monitorização da umidade dos frutos ainda é pouco explorado. Essa tecnologia permite a coleta de informações sem a necessidade de contato físico, possibilitando um monitoramento contínuo e não destrutivo, fundamental para otimizar o controle de qualidade do melão [2].

Este estudo tem como objetivo investigar a aplicação de sensores RFID para avaliar a umidade do melão, utilizando medições da permissividade do fruto e do sinal RSSI recebido. A integração dessa tecnologia com conceitos da Internet das Coisas (IoT) pode contribuir para a criação de sistemas agrícolas mais inteligentes e sustentáveis, reduzindo desperdícios e promovendo maior eficiência na gestão de produtos perecíveis.

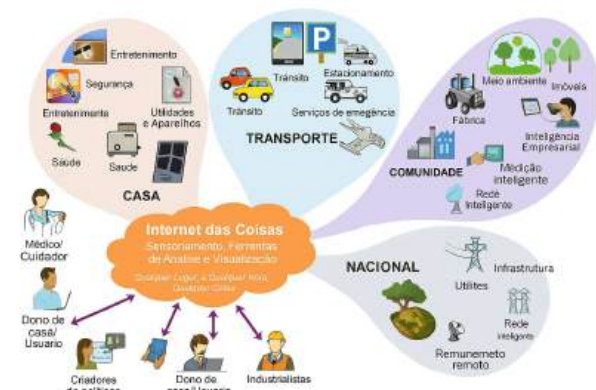
II. FUNDAMENTO DA INTERNET DAS COISAS

A. Internet das coisas

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão de dispositivos físicos que coletam e compartilham dados por meio da internet, permitindo automação e monitoramento remoto em diversas áreas, como agricultura, saúde, cidades inteligentes e indústria 4.0 [3]. No contexto agrícola, a IoT possibilita o uso de sensores para capturar variáveis ambientais essenciais, como temperatura, umidade e qualidade do solo, além de integrar esses dados a sistemas inteligentes de tomada de decisão.

A infraestrutura da IoT é composta por três camadas principais: a camada de percepção, que envolve os sensores e atuadores responsáveis pela coleta de dados; a camada de rede, que gerencia a transmissão dessas informações por meio de protocolos como MQTT e CoAP; e a camada de aplicação, onde os dados são processados e transformados em insights úteis para os usuários finais [4]. Na Figura 1, pode-se observar uma representação esquemática da IoT aplicada à agricultura, destacando a comunicação entre sensores, servidores e plataformas em nuvem.

Figura 1- Esquema da Internet das Coisas mostrando os usuários finais e as áreas de aplicação com base em dados



Fonte: [4], Traduzida para o Português.

B. Introdução ao RFID

A tecnologia RFID é um dos principais componentes da IoT e tem se destacado no setor agrícola devido à sua capacidade de monitoramento em tempo real sem a necessidade de contato físico. O RFID utiliza ondas de rádio para comunicação entre etiquetas eletrônicas e leitores, permitindo a identificação e rastreamento de

objetos, animais e produtos agrícolas ao longo da cadeia de suprimentos [5].

Estudos indicam que a adoção do RFID no Brasil tem crescido significativamente, com aplicações que vão desde a rastreabilidade de insumos até o monitoramento da qualidade dos produtos agroindustriais [6]. No entanto, desafios como interferência eletromagnética e altos custos de implementação ainda são barreiras para uma adoção mais ampla da tecnologia. Para superar essas limitações, abordagens híbridas que combinam RFID com outras tecnologias, como sensores de IoT e inteligência artificial, têm sido exploradas para aumentar a eficiência e a precisão do monitoramento agrícola [9].

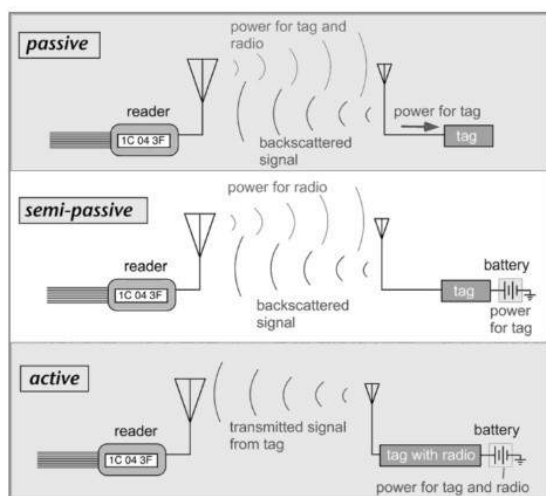
C. Tags RFID

As tags RFID em Ultra-Alta Frequência (UHF) operam na faixa de 300 MHz a 3 GHz, sendo amplamente utilizadas em aplicações comerciais e industriais devido ao seu longo alcance de leitura e alta velocidade de transmissão [10]. Essas tags podem ser classificadas em três tipos principais: passivas, semi-passivas e ativas.

As tags passivas não possuem bateria interna e utilizam a energia do sinal emitido pelo leitor RFID para alimentar seu circuito e transmitir informações. Já as tags semi-passivas possuem uma bateria interna para alimentar o chip, mas ainda dependem do sinal do leitor para transmissão. Por fim, as tags ativas possuem uma bateria própria e transmitem sinais de forma autônoma, permitindo maior alcance e funcionalidades avançadas [11].

A escolha do tipo de tag RFID a ser utilizada depende das necessidades específicas de cada aplicação. No contexto agrícola, as tags passivas são amplamente adotadas para rastreamento de produtos e monitoramento de processos logísticos devido ao seu baixo custo e longa vida útil. No entanto, sua performance pode ser afetada por interferências de metais e líquidos, exigindo técnicas avançadas de design de antenas e processamento de sinais para mitigar esses desafios [12].

Figura 2: Tipos de tags RFID



Fonte: [8].

D. RFID na Agricultura.

A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) tem sido amplamente adotada na agricultura nos últimos anos, proporcionando melhorias significativas em eficiência e gestão [13]. Um dos principais usos do RFID no setor agrícola é o rastreamento de produtos ao longo da cadeia produtiva, garantindo a segurança alimentar e a autenticidade dos alimentos. Na pecuária, por exemplo, etiquetas RFID são utilizadas para monitorar a localização, saúde e histórico de vacinação dos animais, facilitando o manejo e aumentando a rastreabilidade dos produtos de origem animal [14].

Além disso, o uso de sensores RFID em culturas agrícolas permite o monitoramento de variáveis ambientais, como umidade do solo e temperatura, auxiliando na tomada de decisões sobre irrigação e aplicação de fertilizantes. Essa tecnologia também tem sido aplicada para o rastreamento de máquinas e equipamentos agrícolas, reduzindo perdas e aumentando a eficiência no campo [15].

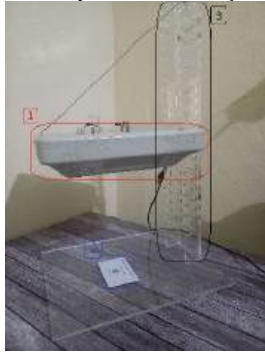
Pesquisas recentes mostram que o uso do RFID na agricultura pode reduzir desperdícios e melhorar a logística da distribuição, possibilitando um controle mais preciso da qualidade dos produtos desde a colheita até o consumidor final [16]. No entanto, desafios como o custo de implementação e a necessidade de infraestrutura tecnológica ainda limitam a adoção em larga escala. Para superar essas barreiras, estratégias de integração com outras tecnologias emergentes, como inteligência artificial e blockchain, têm sido exploradas para garantir maior segurança e eficiência no uso do RFID no setor agrícola [17].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação da maturidade dos melões é crucial para garantir a qualidade do produto ao consumidor. Tradicionalmente, essa avaliação envolve métodos invasivos, como a medição do teor de sólidos solúveis totais, que requerem a perfuração ou corte da fruta, resultando em desperdício significativo [14]. Estudos indicam que, durante o período de avaliação, frutos de melão podem perder até 5,49% de seu peso quando armazenados em temperatura ambiente [14]. Para mitigar essas perdas, alternativas como o desenvolvimento de suco-base de melão têm sido propostas, permitindo o aproveitamento de frutas que, de outra forma, seriam descartadas [15]. Além disso, a implementação de tecnologias não destrutivas, como sensores de proximidade e dispositivos de ressonância magnética, tem sido explorada para avaliar a maturidade sem danificar os frutos, reduzindo assim o desperdício no processo de seleção [15].

Nesse contexto, foi desenvolvido um aparato de medição baseado em uma tag RFID passiva como mostra a Figura 3. Com o objetivo de avaliar a maturidade do melão por meio da alteração do sinal RSSI captado por uma leitora RFID.

Figura – 3. Aparato de medição RFID.



Fonte: Figura do autor

Na Figura 3, é possível observar a composição do aparato de leitura, onde: 1 corresponde à antena de ganho de 8 dBi embutida na leitora RFID modelo YR9010, que possui o chip PR9200 com o padrão EPC Gen2 UHF, mostrado na Figura 4 abaixo; 2 indica o posicionamento da tag; e 3 representa o braço regulável verticalmente para ajustes de altura.

Figura – 4. Aparato de medição RFID.

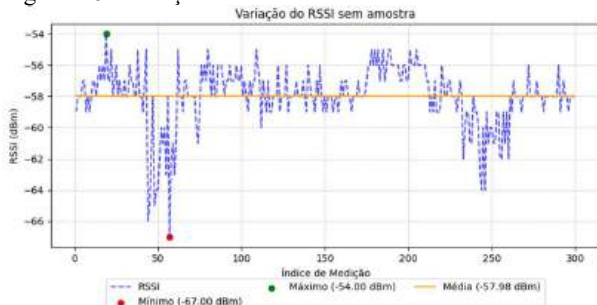


Fonte: Figura do autor

IV. RESULTADOS PRELIMINARES

Com a montagem do aparato de medição, foram realizados testes com amostras de 5 melões maduros, com o objetivo de verificar e ajustar a instabilidade da variação do sinal RSSI para análise de correlação com o nível de maturidade dos melões.

Figura – 5. Medições da amostra 1.

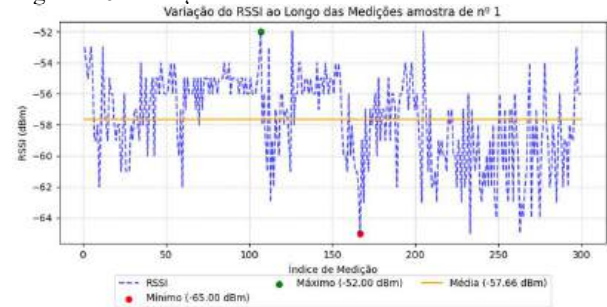


Fonte: Figura do autor

A primeira medição foi realizada sem amostras para fins de comparação. Foi obtida uma média de -57,98 dBm em

300 leituras, com uma variação de -13 dBm entre o maior e o menor valor.

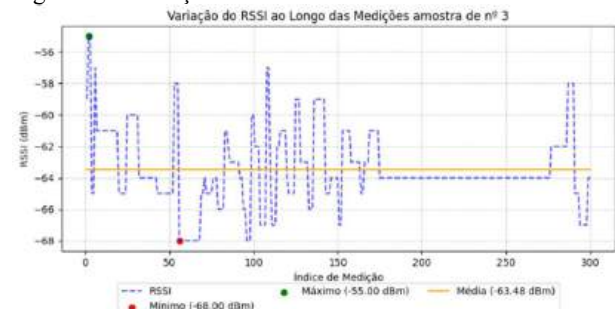
Figura – 6. Medições da amostra 1.



Fonte: Figura do autor

Na medição da primeira amostra, o resultado obtido foi uma média de -57,55 dBm para um total de 300 leituras. Foi fora do esperado, pois o ganho foi melhor do que no teste sem amostras, mantendo a mesma variação de -13 dBm.

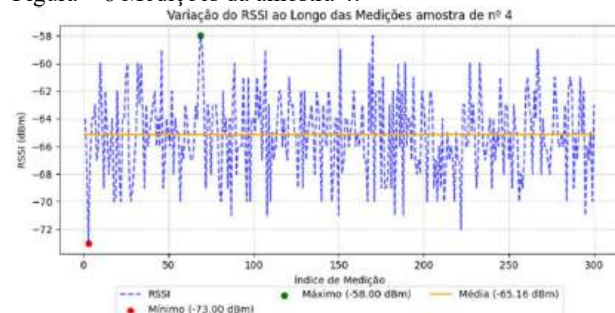
Figura – 7. Medições da amostra 2.



Fonte: Figura do autor

Já na medição da terceira amostra, o resultado obtido foi uma média de -63,48 dBm para um total de 300 leituras, apresentando boa estabilidade em determinado momento. Conforme o esperado, houve aumento da perda de dBm devido à interferência da amostra. No entanto, a variação permaneceu em -13 dBm.

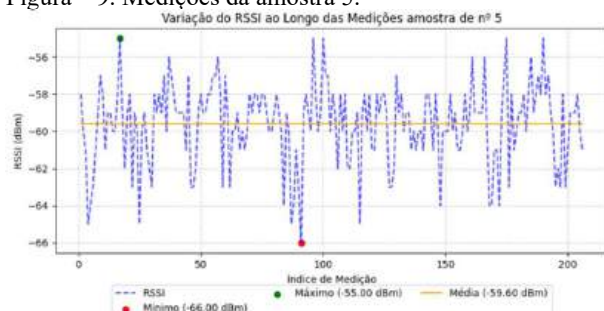
Figura – 8 Medições da amostra 4.



Fonte: Figura do autor

A medição da quarta amostra apresentou uma média de -65,16 dBm em 300 leituras, demonstrando o impacto da interferência da amostra do melão não só no sinal RSSI, mas também na variação do sinal de leitura, que foi de -15 dBm.

Figura – 9. Medições da amostra 5.



Fonte: Figura do autor

O último teste realizado, com alterações no programa da leitora, resultou em uma média de -59,60 dBm em 300 leituras, com uma variação de -11 dBm entre o maior e o menor valor.

V. CONCLUSÃO

Os testes preliminares foram realizados utilizando cinco amostras de melões maduros com o objetivo de analisar a estabilidade do sinal RSSI e sua relação com o estágio de maturação dos frutos. As medições foram conduzidas com 300 leituras para cada amostra, e os resultados evidenciaram variações significativas na intensidade do sinal, indicando possíveis correlações com a composição interna dos frutos.

A primeira medição foi realizada sem a presença de amostras para estabelecer uma referência comparativa. Nesse teste inicial, obteve-se uma média de -57,98 dBm, com uma variação de -13 dBm entre o maior e o menor valor registrado. Esse dado serviu de base para comparação com as medições subsequentes (Figura 5).

Na análise da primeira amostra de melão, a média do sinal RSSI foi de -57,55 dBm, com uma variação de -13 dBm, similar à medição sem amostras. Esse resultado indica que a presença do melão teve um impacto mínimo na atenuação do sinal, possivelmente devido ao seu estágio inicial de maturação (Figura 6).

REFERÊNCIAS

- [1] Finkenzeller, K. (2010). *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. John Wiley & Sons.
- [2] Nikitin, P. V., & Rao, K. V. S. (2006). "Performance limitations of passive UHF RFID systems." *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1011-1014.
- [3] Islam, M. T., Samsuzzaman, M., & Kibria, S. (2015). "Compact RFID Tag Antenna for Agricultural Applications." *Sensors*, 15(9), 22602-22618.
- [4] Wang, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2019). "Recent developments in drying and dewatering of fruits and vegetables: A review." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(4), 501-517.
- [5] Marrocco, G. (2008). "The art of UHF RFID antenna design: Impedance-matching and size-reduction techniques." *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 50(1), 66-79.
- [6] Pedroso, M. C., Zwicker, R., & Souza, C. A. (2009). Adoção de RFID no Brasil: um estudo exploratório. *Revista de Administração Mackenzie*, 10(1), 12-36. M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] Silva, M. M., Silva, R. P., & Silva, E. S. (2016). Aplicações de RFID no contexto da Indústria 4.0: uma revisão sistemática. *Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- [8] D. P. Kingma and M. Welling, "Auto-encoding variational Bayes," 2013, arXiv:1312.6114. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1312.6114>
- [9] Dobkin, D. M. (2012). *The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice* (2nd ed.). Newnes.
- [10] Landt, J. (2017). Shrouds of Time: The history of RFID. *Proceedings of the IEEE*, 105(1), 123-130.
- [11] Nikitin, P. V., & Rao, K. V. S. (2016). Performance limitations of passive UHF RFID systems. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(8), 3242-3250.
- [12] Koenigkan, L. V., & Narciso, M. G. (2009). Aplicações da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) na pesquisa e produção agropecuária. *Embrapa Agricultura Digital*. Link
- [13] CWS Tecnologia. (2024). RFID e beacons: sustentabilidade e eficiência para o setor agrícola.
- [14] Viaonda RFID. (2024). RFID na Agricultura e Pecuária.
- [15] Scielo. (2021). Avaliação da maturidade e conservação pós-colheita do melão. *Scientia Plena*.
- [16] Embrapa. (2019). Melão desperdiçado é alternativa à maçã na indústria de bebidas.

Desempenho das Redes 4G e 5G Utilizando Modelos Computacionais de Propagação de Sinais

Thiago de Carvalho Rêgo
PPGEE/DET/CE
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró/Brasil
thiago.rego@alunos.ufrsa.edu.br

André Pedro Fernandes Neto
PPGEE/DECA/CE
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró/Brasil
andrepdro@ufrsa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade
PPGEE/DET/CE
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró/Brasil
humbertodionisio@ufrsa.edu.br

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
PPGEE/DET/CE
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Mossoró/Brasil
idalmir@ufrsa.edu.br

Fred Sizenando Rossiter Pinheiro
DCO/CT
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte - UFRN
Natal/Brasil
fredrossiter@uol.com.br

Gutemberg Soares da Silva
DCO/CT
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte - UFRN
Natal/Brasil
guttembbgue@gmail.com

Resumo—Este artigo compara o desempenho de redes 4G e 5G usando modelos computacionais de propagação de sinais. São analisados sete modelos que focam em métricas como perda de percurso, altura da ERB, altura do usuário e distância em diferentes cenários urbanos, suburbanos e rurais. Este trabalho utilizou o SCILAB para realizar a simulação, considerando frequência, distância, altura e ambiente. Conclui-se que o modelo COST231 é mais eficaz em ambientes urbanos e rurais, enquanto o modelo Okamura-Hata se destaca em áreas suburbanas.

Palavras-chave: 4G, 5G, Modelos de Propagação, Okumura-Hata, Perda de Percurso, Cobertura.

I. INTRODUÇÃO

A propagação de sinais de tecnologia 5G representa um desafio, mesmo com o avanço das tecnologias de comunicação. Isto se deve à sensibilidade a obstáculos e uma menor capacidade de penetração. A tecnologia 5G usa o padrão LTE que é o padrão predominante no Brasil, e opera em frequências mais elevadas que a tecnologia 4G, que opera abaixo de 6 GHz, nas faixas de ondas milimétricas (*mmWave* - *millimeter wave*) [1]. A faixa *mmWaves* se refere ao espectro de frequências entre 30 GHz e 300 GHz, com comprimento de onda na faixa de 1 a 10 mm. A *Federal Communications Commission* - FCC, redefiniu a extremidade inferior da faixa de ondas milimétricas nos EUA para começar na faixa superior da banda *Super High Frequency* - SHF (3 a 30 GHz), começando em 24 GHz, passando para a banda *Extremely High Frequency* - EHF (30 a 300 GHz) indo até 47 GHz, que atualmente é a extremidade superior do espectro alocado para 5G.

Os modelos de propagação visam presumir a intensidade do sinal recebido no receptor [2]. Foram utilizados 7 modelos determinísticos neste trabalho: 3GPP (*Third Generation Partnership Project* GBSCM), NYUSIM, METIS (*Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twentyInformation Society*), ITU_P1411 (*International Telecommunication Union*), Okamura - Hata e COST231 (*Cooperation in Science and Technology*).

Este artigo utiliza técnicas computacionais de propagação de sinal para efetuar uma comparação das tecnologias de quarta e quinta geração em vários cenários, trabalhando nas frequências de 700, 850, 1800, 2100 e 3500 MHz, para realizar uma análise de cada geração, comparando os modelos de propagação e analisando qual deles melhor se comporta diante dos obstáculos.

II. MODELOS ESTUDADOS

A. Modelo de 3GPP

Este modelo foi criado por uma parceria de sete organizações mundiais de desenvolvimento de padrões de telecomunicações, constituídas por ARIB (*Association of Radio Industries and Companies*) no Japão, a ATIS (*Alliance for Telecommunications Industry Solutions*) na América do Norte, a CCSA (*China Communications Standards Association*), o ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*), a TSDSI (*Telecommunications Standards Development Society, India*), a TTA (*Telecommunication Technology Association*) da Coreia do Sul e a TCC (*Toronto Transit Commission*) no Canadá [3]. Vale ressaltar que este modelo utilizado é focado em ambiente outdoor, considerando fatores que definem o tipo de ambiente estudado como em (1).

$$PL = 28.0 + 22 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) + C \quad (1)$$

$C = 0$ para zona urbana

$C = -5$ para zona suburbana

$C = -10$ para zona rural

B. Modelo NYUSIM

Possui característica de largura de banda de até 1 GHz, utilizando de cluster de tempo e espaço separados para identificar atraso e direção de múltiplos caminhos este modelo é capaz simular a correlação espacial do movimento do receptor (Rx) na área local, trabalhando em um range de 0.5 a 150 GHz, em (2) é possível ser aplicado em cenários *indoor* ou *outdoor* [4].

$$PL_{LOS} = 32.4 + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) + 20 \cdot \log_{10}(d) \quad (2)$$

$\Delta = 2$, perda adicional para NLOS

$$PL = PL_{LOS} + \Delta$$

C. Modelo METIS

Caracteriza-se pela sua ampla faixa de frequência, elevada largura de banda, modelagem de polarização 3D de alta precisão. Pode entregar diversas metodologias de modelo de canal, bem como, modelos estocásticos ou híbridos, trabalha em um intervalo de 2 a 60 GHz mostrado na equação (3), possui limitações quando aplicado em ambiente *indoor* [4].

$$PL = 22.7 \cdot \log_{10}(d) + 27.0 + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) \quad (3)$$

D. Modelo ITU_P1411

Este é um modelo para sistemas de comunicação de rádio outdoor de curto alcance [5]. Seu uso é limitado a um alcance de 5 quilômetros e é recomendado não o usar em distâncias maiores que um quilômetro. Para caminhos com menos de 1 quilômetro de comprimento, as perdas de propagação são devidas principalmente a edifícios e vegetação, e não a variações na elevação do solo. Além disso, a maioria das ligações de curto alcance tende a ocorrer em áreas urbanas e suburbanas, onde o terminal está nas mãos de um pedestre ou localizado em um veículo. Sua equação reduzida é apresentada em (4).

$$PL = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) + 32.4 \quad (4)$$

E. Okamura – Hata

Este modelo é um dos mais utilizados e vários outros modelos se baseiam pelos seus resultados [6]. Sua maior característica é considerar que não existem bloqueios dominantes entre transmissor e receptor afirmando que as características do terreno variam pausadamente, caracterizando ambientes *outdoor*. Sua equação é dada em (5).

$$PL = 69.55 + 26.16 \cdot \log_{10}(f/1e6) - 13.82 \cdot \log_{10}(hb) - a_{hm} + (44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(hb)) \cdot \log_{10}(d/1e3) - C \quad (5)$$

$C = 0$ para urbano;

$C = 2 \cdot (\log_{10}(f/28))^2 - 5.4$ para suburbano;

$C = 4.78 \cdot (\log_{10}(f))^2 + 18.33 \cdot \log_{10}(f) - 40.94$ para rural.

$$a_{hm} = (1.1 \cdot \log_{10}(f/1e6) - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot \log_{10}(f/1e6) - 0.8) \text{ para o fator de correção}$$

F. Modelo COST231

Foi desenvolvido como uma ampliação do modelo anterior, para atender as faixas de frequências de 500 MHz a 2000 MHz. Possui ajustes para os tipos de ambientes: urbanos, suburbanos e rurais. Carrega na sua estrutura computacional, simplicidade e disponibilidade de fatores de correção, tornando-o muito utilizado para previsão de perda de percurso em ambientes *outdoor* [7]. A equação que define o modelo é apresentada em (6).

$$L_0 = 32.4 + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) + 20 \cdot \log_{10}(d/1e3) \quad (6)$$

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \log_{10}(20) + 10 \cdot \log_{10}(f/1e6) + 20 \cdot \log_{10}(hb - h_m)$$

$$L_{msd} = 0$$

$$PL = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$

G. Modelo Ray Tracing

O método de *Ray Tracing* ou traçado de raios é baseado na óptica de raios que resolve as equações de Maxwell em regime de alta frequência. Portanto, o método de traçado de raios é uma ferramenta geral de modelagem de propagação que fornece estimativas de perda de caminho, ângulo de chegada/saída e atrasos de tempo. Ao contrário dos modelos teóricos e empíricos, o método de traçado de raios não fornece fórmulas simples para o cálculo da perda de caminho, por este motivo, requer mais informações do ambiente, enriquecendo

a carga de detalhes sendo possível uma modelagem 3D ideal para situações indoor [8]. Este modelo é definido pela equação (7).

$$PL = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f/1e9) + 32.4 + 10 \cdot \text{ruído} \quad (7)$$

Para uma maior compreensão e comparação dos modelos estudados, a Tabela 1 apresenta as principais características dos modelos abordados e o nível de complexidade de implementação.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Modelo	Complexidade de Implementação	Comentário
3GPP	Média a Alta	Modelagem padronizada, mas requer ajuste de parâmetros de cenário.
NYUSIM	Alta	Baseado em simulações detalhadas; exige muitos parâmetros estatísticos.
METIS	Alta	Requer informações detalhadas do ambiente (urbano, rural etc.).
ITU P.1411	Média	Fórmulas simples para cenários típicos; pouca parametrização
OKAMURA-HATA	Baixa	Muito simples; poucos parâmetros necessários
COST231	Baixa a Média	Exige detalhes sobre obstáculos e ambiente urbano (altura dos edifícios, largura de ruas)
RAY Tracing	Muito Alta	Necessita de um modelo 3D completo do ambiente e alto poder computacional

III. METODOLOGIA

Para a realização do estudo dos métodos, foi definido os cenários em termos de propagação, como sendo urbano, suburbano e rural, pois, levou-se em consideração todas as regiões alvo que devem ser atendidas pelo sinal. Foram selecionados oito modelos para execução da simulação: 3GPP, NYUSIM, METIS, ITU-R P.1411, Okamura-Hata, COST 231, *Ray Tracing*. Deste modo, foram definidos os parâmetros apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Parâmetros	Valor	
Tecnologia	4G	5G
Frequência (MHz)	700, 850, 1800, 2100	3500

Distância (m)	10 até 1000	10 até 1000
Altura da estação base (m)	30	30
Altura do usuário (m)	1,5	1,5
Ambiente	urbano, suburbano e rural	urbano, suburbano e rural

Definido os parâmetros, foi elaborado um algoritmo no *software* SCILAB com a finalidade de simular e comparar os modelos de propagação de sinais para redes 4G e 5G, para cada frequência foi executado três simulações diferentes, alterando os tipos de ambiente para que o código entregasse os gráficos que comparam as curvas de perda de percurso e por fim, comparação das curvas avaliando os métodos que melhor se comportam em cada cenário. Portanto, a Fig. 1 ilustra o fluxograma do algoritmo.

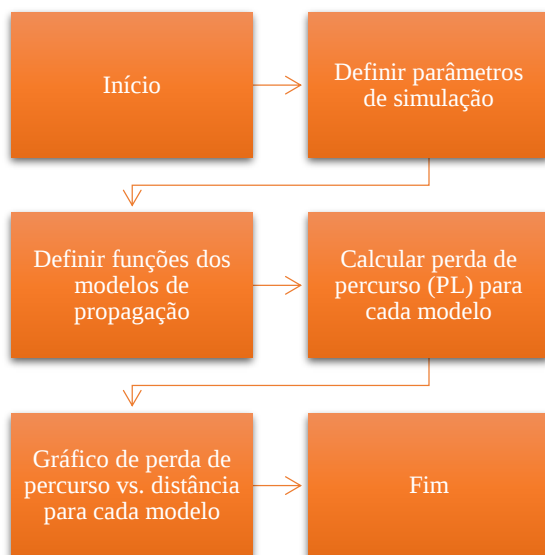


Fig. 1. Fluxograma do algoritmo

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Através da simulação computacional, e considerando valores de distância entre transmissor e receptor, pôde-se identificar quais modelos de propagação melhor se comportam levando em consideração o ambiente e a tecnologia utilizada. Nas Fig. 2 e 4, em um ambiente urbano, o modelo COST231 entregou uma menor perda de propagação, enquanto a Fig. 3 apresentou uma menor perda de propagação no modelo Okamura-Hata.

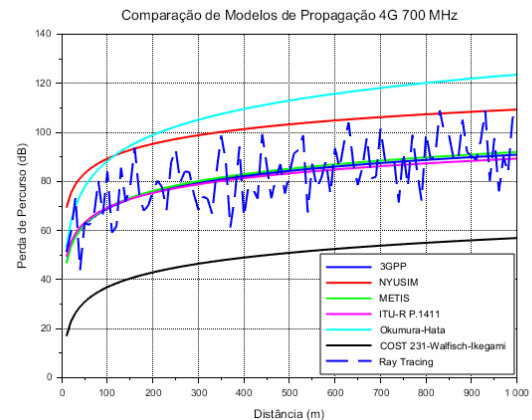


Fig. 2. Gráfico para 4G urbano à 700 MHz

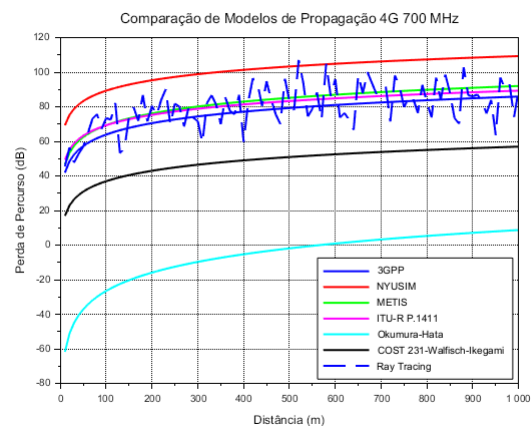


Fig. 3. Gráfico para 4G suburbano 700 MHz.

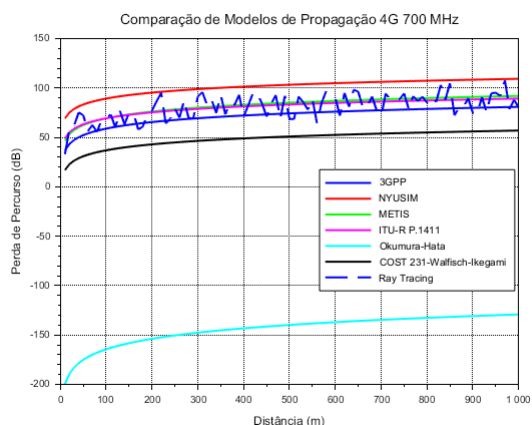


Fig. 4. Gráfico para 4G rural 700 MHz

Para a simulação na frequência de 850 MHz, as Fig. 5 e 7 apresentaram no gráfico uma menor atenuação nos modelos COST 231, contudo, na Fig. 6, o modelo Okamura-Hata obteve um melhor desempenho.

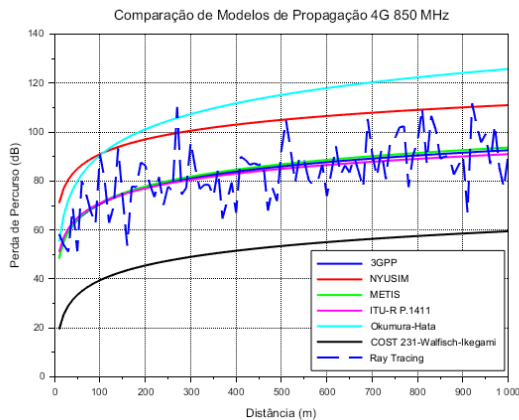


Fig. 5. Gráfico para 4G urbano 850 MHz

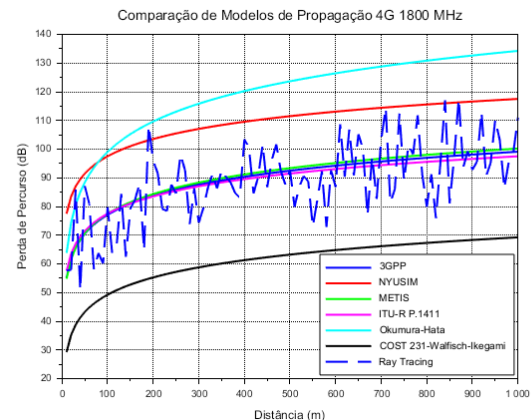


Fig. 8. Gráfico para 4G urbano 1800 MHz.

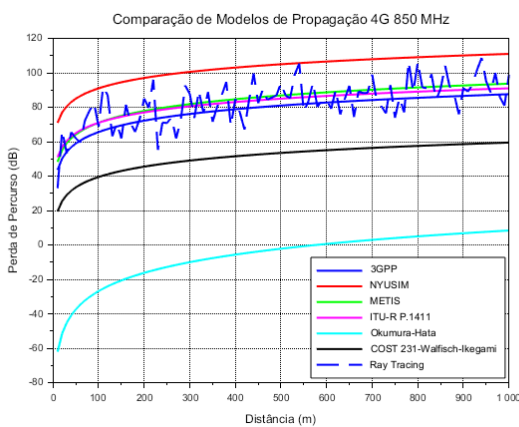


Fig. 6. Gráfico para 4G suburbano 850 MHz.

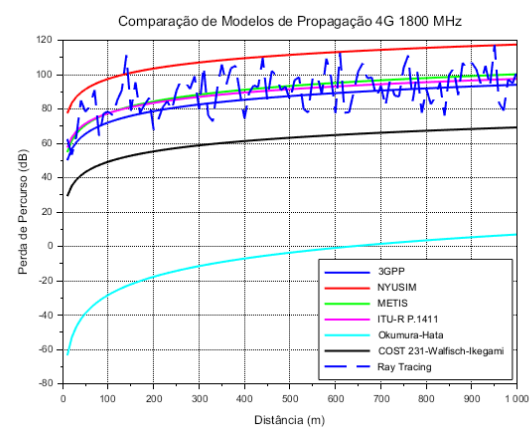


Fig. 9. Gráfico para 4G suburbano 1800 MHz.

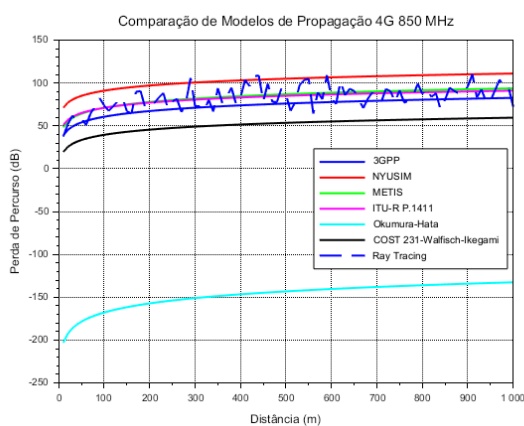


Fig. 7. Gráfico para 4G rural 850 MHz.

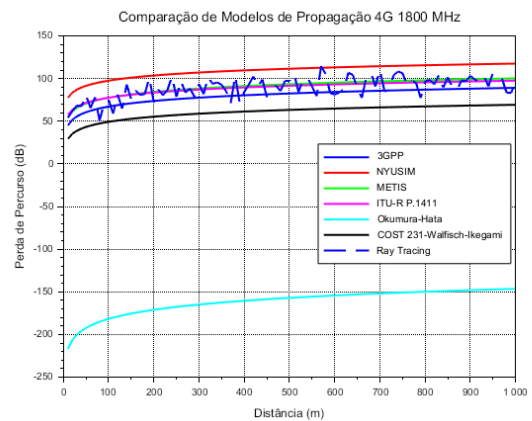


Fig. 10. Gráfico para 4G rural 1800 MHz.

Os resultados das Fig. 8 e 10 mostram que o modelo de COST231 se sobressai diante dos outros modelos, em contrapartida, na Fig. 9 o melhor modelo é o de Okumura-Hata.

Foi observado que, à medida que as frequências aumentam, no estudo da tecnologia 4G utilizando uma frequência de 2100 MHz, os gráficos das Fig. 11 e 13 demonstram que o modelo COST 231 apresenta a menor atenuação. Por outro lado, na Fig. 12, o modelo Okumura-Hata é o que exibe a menor perda de sinal.

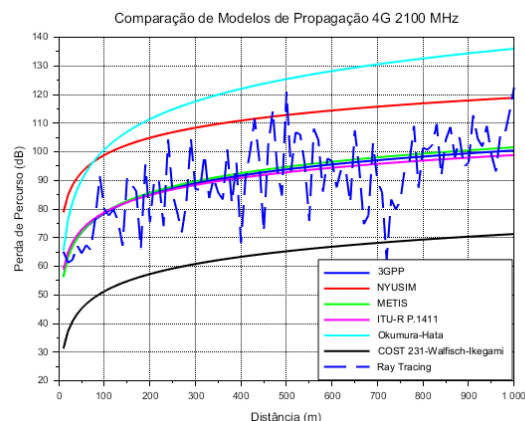


Fig. 11. Gráfico para 4G urbano 2100 MHz.

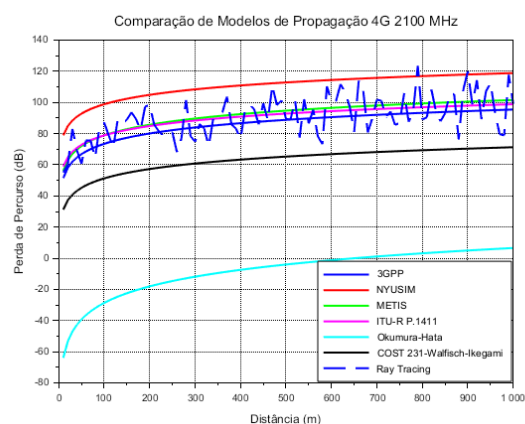


Fig. 12. Gráfico para 4G suburbano 2100 MHz.

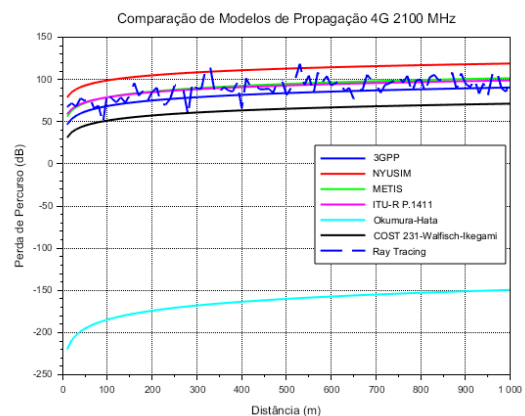


Fig. 13. Gráfico para 4G rural 2100 MHz.

Mudando toda a configuração, onde os testes foram realizados para um novo modelo de telefonia móvel, embora ainda compartilhe do mesmo núcleo de rede, o 5G oferece velocidade aproximadamente 40% maior que a tecnologia 4G. É possível observar um comportamento muito parecido com as frequências anteriores, de forma que, as Fig. 14 e 16, entregam o modelo COST231 como a melhor opção. Deste

modo, para uma zona suburbana, o modelo Okumura-Hata será a melhor opção, assim mostra a Fig. 15.

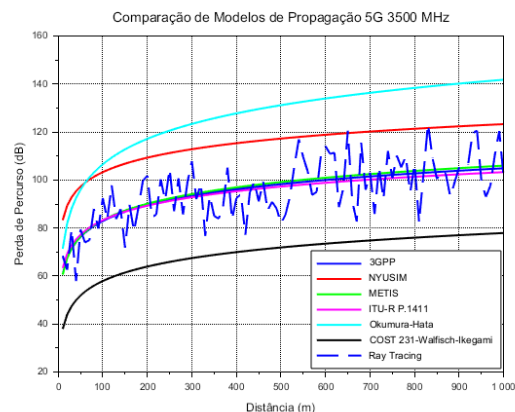


Fig. 14. 5G urbano 3500 MHz.

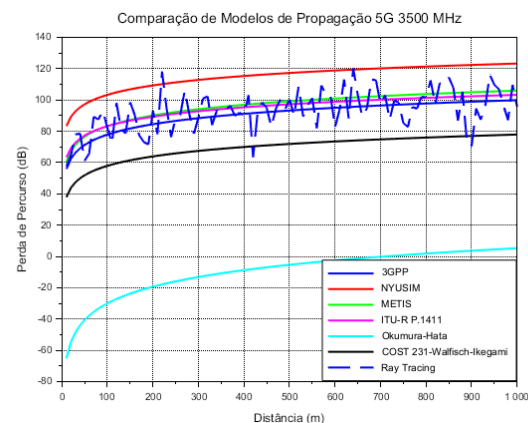


Fig. 15. Gráfico para 5G suburbano 3500 MHz.

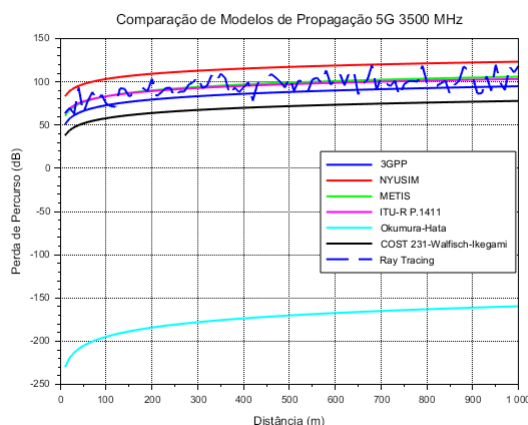


Fig. 16. Gráfico para 5G rural 3500 MHz.

A Fig. 17 evidencia que as curvas referentes à tecnologia 5G apresentam uma perda de percurso mais acentuada em distâncias maiores, em decorrência da utilização de frequências mais elevadas. Em contrapartida, as curvas associadas à tecnologia 4G demonstram uma perda de percurso reduzida, refletindo o maior alcance proporcionado pelas frequências mais baixas. Essa análise foi realizada em

um contexto geral, sem a consideração de fatores específicos do ambiente de propagação, como obstáculos, relevo ou condições atmosféricas.

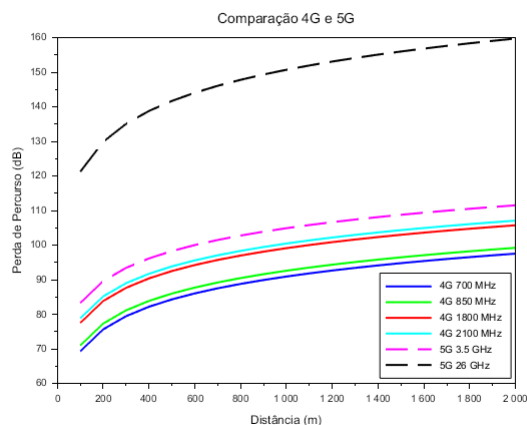


Fig. 17. Gráfico comparativo geral para 4G e 5G.

V. CONCLUSÃO

Verificou-se que, para cada tipo de ambiente, é possível empregar modelos de propagação que incorporam variáveis específicas que influenciam diretamente na atenuação do sinal, tais como características do terreno, obstáculos e condições de propagação. Em todas as simulações realizadas, observou-se que o modelo *Ray Tracing* apresentou uma sensibilidade significativa aos ruídos ao longo do percurso de propagação. Esse comportamento é atribuído à natureza do modelo, que considera múltiplos percursos entre o transmissor e o receptor, incluindo efeitos como linha de visada direta (LOS), reflexões, difrações e espalhamento.

Para simular condições críticas e realistas, os valores utilizados no código foram gerados de forma aleatória, permitindo uma avaliação robusta do desempenho do modelo em cenários complexos e variados. Esta abordagem possibilitou uma análise comparativa mais precisa entre os modelos, destacando suas particularidades e limitações em diferentes contextos de propagação.

Para trabalhos futuros, é possível considerar dados reais para diversos tipos de ambientes, através de captura de potência de sinal das operadoras existentes no município e posteriormente aplicando os métodos de propagação considerando ambientes *indoor* e *outdoor*. Vale ressaltar que os modelos estudados em sua grande maioria focam em ambientes *outdoor*, por este motivo, aqueles que se destacam em ambientes *indoor*, precisam de algumas adaptações para uma análise mais confiável.

Em resumo, a pesquisa abre possibilidades para novos estudos considerando ambientes e dados reais através de campanha de medição para uma abordagem mais ampla, contribuindo para uma análise da qualidade do sinal disponibilizado pelas operadoras de celular, bem como a previsão de sinal em regiões distantes dos transmissores.

REFERÊNCIAS

- [1] Y. D. J. A. C. Sousa *et al.*, "Planejamento de Cobertura de Redes 5G utilizando Inteligência Artificial através de Software de Geolocalização, RNA e Bayesianas", em *Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais*, Sociedade

Brasileira de Telecomunicações, 2024. doi: 10.14209/sbrt.2024.1571028540.

- [2] S. D. de Lima, *Análise e simulação dos aspectos de transmissão de sinais 5g em macro células em ambientes urbanos*, Patos de Minas - MG., 2023. Acesso em: 10 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://encurtador.com.br/ajFPS>
- [3] D. Liao, *Implementação de QoS em rede 5G através do Network Slicing*, Universidade Federal de Santa Catarina., 2023. [Online]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/248721>
- [4] H. Poddar, S. Ju, D. Shakya, e T. S. Rappaport, "A Tutorial on NYUSIM: Sub-Terahertz and Millimeter-Wave Channel Simulator for 5G, 6G, and Beyond", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 26, n° 2, p. 824–857, 2024, doi: 10.1109/COMST.2023.3344671.
- [5] International Telecommunication Union (ITU), *Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz*, 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1411>
- [6] A. F. Molisch, *Wireless communications*, 2nd ed. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley: IEEE, 2011. [Online]. Disponível em: <https://researchpapers4scolars.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/06/andreas-f-molisch-wireless-comm.pdf>
- [7] E. Jorge Júnior, "Utilização de inteligência computacional no aprimoramento dos modelos de propagação perda no espaço livre, Okumura-Hata, COST 231, ECC-33, Egli e a recomendação ITU-P.1546", Universidade Federal de Uberlândia, 2024. doi: 10.14393/ufu.te.2024.791.
- [8] Z. Yun e M. F. Iskander, "Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications", *IEEE Access*, vol. 3, p. 1089–1100, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2453991.

Diabetes detection in adult patients using explainable artificial intelligence

1st Bruno Victor Paiva da Silva

dept. name of organization (of Aff.)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Pau dos Ferros

bruno.silva53331@alunos.ufersa.edu.br

2nd Rosana Cibely Batista Rego

Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Pau dos Ferros

rosana.rego@ufersa.edu.br

Abstract—Diabetes, a rapidly expanding chronic condition worldwide, requires diagnostic methods that are both accurate and efficient. This study presents an artificial intelligence-based approach, utilizing a multilayer perceptron neural network designed to identify diabetes based on multiple influential factors. The network was trained using a database, achieving an 82% precision and 83% accuracy. Additionally, the explainable artificial intelligence method SHAP was applied, revealing the significant contribution of parameters such as age and high blood pressure in the diagnostic process. These results highlight the importance of early detection and proper treatment of diabetes, reinforcing the potential of AI as a clinical support tool.

Index Terms—Brain tumors, artificial intelligence, MRI, bounding boxes, deep learning.

I. INTRODUCTION

A diabetes é um dos principais fatores de morbidade e mortalidade, não apenas pelos efeitos imediatos da doença, mas também pelas complicações crônicas que pode provocar [5]. Por ser uma condição de saúde crônica que pode vim afetar a maneira em que seu corpo faz o processo de absorção dos nutrientes alimentares em energia física no corpo, em que se tem definido três tipos correspondentes a diabetes. O diabetes do tipo 1: que é uma doença autoimune que faz com que o corpo reaja atacando as células do pâncreas que produzem o hormônio da insulina. Esse hormônio é quem ajuda o corpo a usar glicose para carregar a energia [3]. O diabetes do tipo 2: é o tipo em que se é mais encontrado entre as pessoas que possuem essa condição, pois ela se manifesta quando o organismo apresenta resistência à insulina ou quando o corpo não consegue mais produzir uma quantidade que seja suficiente de insulina [2], [3]. Para a falta de insulina, é fundamental que existam aplicações diárias para quem é portador de diabetes, em um processo conhecido como insulinoaterapia. Isto é, passam a ter de administrar insulina todos os dias. Esta estratégia visa, sobretudo, controlar a glicemia, mas é também fundamental para evitar ao máximo as complicações provocadas pela doença [12], [17]. Diabetes gestacional: esse tipo de diabetes pode ocorrer durante a gravidez, porém é comum que deixe de existir após o nascimento do bebê [3].

A IA pode analisar grandes volumes de dados de saúde, incluindo informações demográficas, históricos médicos, exames

laboratoriais e dados de monitoramento contínuo de glicose [8], [18]. Com algoritmos de aprendizado de máquina, é possível identificar padrões e correlações que poderiam passar despercebidos em análises tradicionais [6], [15]. Técnicas como redes neurais e máquinas de vetores de suporte têm sido aplicadas para classificar pacientes em diferentes categorias de risco de diabetes, como não-diabéticos, pré-diabéticos e diabéticos [11], [19], [24]. Esses modelos podem ser treinados com conjuntos de dados robustos para prever a probabilidade de desenvolvimento da doença, auxiliando os médicos na tomada de decisões informadas e na adoção de intervenções precoces [21].

A aplicação da rede neural com inteligência artificial explicável (XAI) tem como objetivo prever o desenvolvimento de pré-diabetes em específico para o tipo da doença dois (Tipo 2) [13]. Utilizando variáveis extraídas do banco de dados específico para diabetes, o modelo é capaz de estimar a probabilidade de manifestação da condição, contribuindo para a tomada de decisões clínicas [1]. Este estudo propõe a utilização de uma rede neural combinada com o método SHAP (SHapley Additive exPlanations) para identificar os parâmetros que exercem maior influência na predição de diabetes, conforme o modelo de rede neural implementado.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A busca por métodos eficazes para a classificação de condições de saúde, como diabetes, por meio de modelos de redes neurais, tem sido amplamente explorada em diversos estudos. Portanto, é relevante analisar os resultados alcançados em outras pesquisas e compará-los com os deste projeto [4], [9].

A partir da Tabela I, pode-se inferir que os principais modelos de aprendizado de máquina utilizados em três diferentes estudos

O artigo [23] apresentou uma aplicação de aprendizado de máquina utilizando um dos algoritmos mais comuns, a floresta aleatória. Esse algoritmo, que combina as saídas de várias árvores de decisão para gerar um único resultado, foi aplicado para classificar dados de saúde em categorias como não-diabéticos, pré-diabéticos e diabéticos. Após a realização de múltiplos testes, foi alcançado uma precisão de 97% para

Identify applicable funding agency here. If none, delete this.

TABLE I
MODELOS UTILIZADOS NOS TRABALHOS E SUAS RESPECTIVAS
ACURÁCIAS

Artigo	Modelos Utilizados	Melhor Modelo	Acurácia
[23]	Floresta Aleatória	Floresta Aleatória	97%
[16]	Árvore de Decisão, ANN, Perceptron Multicamadas, Naive Bayes, Floresta Aleatória	Floresta Aleatória	96%
[20]	Naive Bayes, Máquina de Vetores de Suporte (SVM), Perceptron Multicamadas, Floresta Aleatória	Floresta Aleatória	NA

a distinção entre diabéticos e não-diabéticos. No entanto, ao classificar pré-diabéticos, a precisão foi inferior.

O artigo [16] utilizou um conjunto de dados mais recente disponibilizado pelo NHANES. O diferencial desse trabalho foi a construção de múltiplos modelos de aprendizado de máquina, incluindo a árvore de decisão, que, devido à sua estrutura semelhante a um fluxograma, é fácil de visualizar e interpretar; o ANN, que classifica as amostras com base na proximidade com seus vizinhos mais próximos; uma rede neural do tipo perceptron multicamadas, modelo também utilizado no presente artigo; o Naive Bayes, que se baseia nas descobertas de Thomas Bayes para fazer previsões; e a floresta aleatória, o mesmo modelo utilizado no artigo anterior. A floresta aleatória apresentou o melhor resultado, com uma acurácia de aproximadamente 96%, enquanto o modelo Naive Bayes apresentou o menor desempenho, com 89% de acurácia.

Por fim, o artigo [20] também utilizou diferentes modelos de aprendizado de máquina, incluindo o Naive Bayes, a máquina de vetores de suporte (SVM), o perceptron multicamadas e a floresta aleatória. Todos os modelos foram avaliados com base em parâmetros de desempenho como sensibilidade, especificidade e acurácia balanceada. Utilizando o conjunto de dados NHANES.

Diferentemente dos trabalhos citados [23], [16] e [20], que se concentram principalmente na aplicação e comparação de diferentes algoritmos de aprendizado de máquina, como floresta aleatória, árvore de decisão, perceptron multicamadas, Naive Bayes e máquina de vetores de suporte, o presente trabalho foca na interpretação dos resultados gerados pelos modelos de IA. Enquanto os artigos destacam o desempenho em termos de métricas como acurácia e precisão, o diferencial do trabalho proposto está na explicabilidade dos modelos, utilizando uma rede neural perceptron multicamadas (MLP) para a classificação de dados de saúde relacionados ao diabetes, em conjunto com a técnica SHAP. Através do SHAP, é possível interpretar a contribuição individual de cada característica para a previsão final do modelo.

III. METODOLOGIA

O BRFSS (*Behavioral Risk Factor Surveillance System*) [14] é uma pesquisa telefônica contínua orientada à coleta de informações sobre possíveis comportamentos que podem

causar riscos relacionados à saúde, condições crônicas e uso de serviços preventivos, no qual esses dados sobre o estado de saúde são dirigidas ao público de adultos acima dos 18 anos. Os resultados das pesquisas são fielmente disponibilizadas todos os anos ao público para contribuição científica desde sua criação em 1984, nos Estados Unidos, realizado pelo CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*). O BRFSS chega a realizar uma quantidade superior a 400.000 entrevistas com adultos a cada ano, atuando em todos os 50 estados e sendo a principal e às vezes a única fonte na maioria deles, o que torna o BRFSS o maior sistema de pesquisa de saúde conduzido continuamente em múltiplos modos por meio de correios telefones fixos e celulares em todo mundo [3].

O banco de dados empregado neste projeto é composto por 236.378 respostas à pesquisa BRFSS do CDC para o ano de 2021. A pesquisa utiliza valores ou respostas binárias (sim ou não), distribuídos em 22 parâmetros. Os seguintes parâmetros são: Diabetes, HighBP, HighChol, CholCheck, BMI, Smoker, Stroke, HeartDiseaseorAttack, PhysActivity, Fruits, Veggies, HvyAlcoholConsump, AnyHealthcare, NoDocbcCost, GenHlth, MentHlth, PhysHlth, DiffWalk, Sex, Age, Education, Income.

Os dados se dividem, em sua maior parte, na classe 0, que indica pacientes sem diabetes, sendo quase sete vezes mais frequente do que a classe 1, que indica pacientes com diabetes. Com isso é de necessidade então realizar um balanceamento mediante uma implementação de dados por intermédio da *Synthetic Minority Oversampling Technique* (SMOTE), se caso seja considerado a não utilização, o modelo pode ser consideravelmente afetado pelo paradoxo da acurácia, no qual a classe menor, que neste caso seria a 1, não seria corretamente diferenciada das outras categorias, o que levaria a uma falsa impressão que o modelo está atingindo bons resultados, pois sua acurácia estaria apropriadamente alta [7].

IV. MODELO DE REDE NEURAL

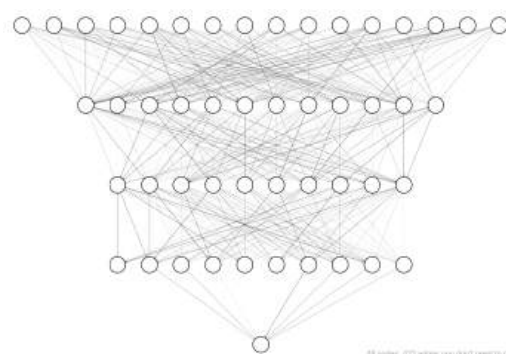


Fig. 1. Modelo de rede neural desenvolvido.

O modelo computacional da rede neural perceptron multicamadas, conforme ilustrado na Figura 1, pode ser descrito matematicamente pela representação dos sinais de entrada como um vetor x , composto por N elementos:

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N] \quad (1)$$

Cada sinal de entrada x_i é associado a um peso sináptico w_i , descrito pelo vetor de pesos:

$$\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_N] \quad (2)$$

No processo de processamento de sinais, os valores de entrada são multiplicados pelos respectivos pesos sinápticos, e, em seguida, é adicionado um termo conhecido como "bias" b , que confere maior flexibilidade ao modelo, permitindo que a função de ativação seja deslocada e não seja exclusivamente influenciada pelas entradas. Essa operação de combinação linear entre as entradas e os pesos sinápticos, acrescida do bias, pode ser expressa pela seguinte equação:

$$z = \sum_{i=1}^N w_i x_i + b \quad (3)$$

A variável z representa a soma ponderada das entradas, que posteriormente serve como entrada para a função de ativação, a qual determina a resposta final do neurônio artificial.

Para encontrar o melhor modelo a ser implementado, foi realizado um cálculo com o valor de amostras, sobre fator de escala multiplicado pelo número de neurônios de entrada mais a quantidade de neurônios de saída, o que resulta a quantidade de magnitude mais adequada para o modelo. A arquitetura do modelo desenvolvido para a classificação binária de diabetes utiliza uma rede neural densa com várias camadas totalmente conectadas (fully connected layers) implementadas com a biblioteca TensorFlow e Keras. O objetivo é classificar os dados em duas classes, representadas por uma saída binária (0 ou 1), utilizando a função de ativação *sigmoide* na camada final.

A arquitetura do modelo foi desenvolvida com 4 camadas, sendo 3 delas camadas ocultas e uma camada de saída, com o número de neurônios, 256 na primeira camada, 128 na segunda, 64 na terceira e 1 na quarta camada, em todas camadas ocultas utilizando a função de ativação ReLU (Rectified Linear Unit) dada por,

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x). \quad (4)$$

Na camada de saída a função sigmoide foi utilizada. A função sigmoide é dada por,

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5)$$

A função de perda *binary crossentropy* dada por

$$L(y, \hat{y}) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad (6)$$

foi utilizada no treinamento do modelo, em que N é o número total de amostras no conjunto de dados, y_i é o valor verdadeiro da classe para a amostra i , no qual $y_i \in \{0, 1\}$ e $\hat{y}_i$ a

probabilidade predita da classe 1 para a amostra i , em que $\hat{y}_i \in [0, 1]$. Portanto, a saída da rede pode ser dada por,

$$\hat{y} = \sigma(W_4 \cdot \text{ReLU}(W_3 \cdot \text{ReLU}(W_2 \cdot \text{ReLU}(W_1 \cdot x + b_1) + b_2) + b_3) + b_4) \quad (7)$$

A equação de atualização dos pesos pode ser dada por,

$$W_{\text{novo}} = W_{\text{antigo}} - \eta \cdot \frac{\partial L}{\partial W} \quad (8)$$

em que W_{novo} representa o novo valor do peso após a atualização, W_{antigo} é o valor anterior do peso antes da atualização, η denota a taxa de aprendizado, que controla o tamanho do passo dado em direção à minimização da função de perda, e $\frac{\partial L}{\partial W}$ é o gradiente da função de perda L em relação ao peso W , que indica a direção e a magnitude em que o peso deve ser ajustado para reduzir a função de perda.

Para a definição da taxa de aprendizado, foi identificado que o otimizador Adam (*Adaptive Moment Estimation*) com um valor de 0.001 proporcionou resultados satisfatórios.

A fim de aprimorar o desempenho do modelo, foi implementada a técnica de *dropout*, que realiza atualizações nos pesos de forma a mitigar um dos principais problemas associados à implementação de redes neurais: o *overfitting*. A equação que define a operação do dropout pode ser expressa como

$$\mathbf{a}_{\text{dropout}} = \begin{cases} \frac{a}{p} & \text{com probabilidade } p \\ 0 & \text{com probabilidade } (1 - p) \end{cases} \quad (9)$$

em que $\mathbf{a}_{\text{dropout}}$ representa a saída após a aplicação do *dropout*, no qual a é a ativação do neurônio antes da aplicação do *dropout*. A variável p denota a probabilidade de manter um neurônio ativo durante o treinamento, ou seja, a fração de neurônios que permanecem ativados. Com uma probabilidade p , a ativação é escalonada (normalizada) pela probabilidade p para manter a saída esperada, enquanto, com uma probabilidade $1 - p$, a ativação é definida como zero, efetivamente desativando o neurônio. Para converter qualquer número real resultante da soma das ativações dos neurônios em um valor dentro do intervalo $[0, 1]$, foi aplicada a função de ativação sigmoide na camada oculta. Esta função retorna valores próximos a 0 para entradas pequenas e valores próximos a 1 para entradas grandes. A camada oculta está diretamente conectada à camada de saída, a qual é composta por dois neurônios [10].

Adicionalmente, diversas métricas foram empregadas para avaliar a evolução do modelo, incluindo acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score. Os resultados dessas métricas serão discutidos em detalhes na seção de resultados.

A. IA explicável

Usar Inteligência Artificial Explicável (XAI) permite que médicos e pacientes compreendam como as previsões sobre o risco de diabetes são feitas. Além disso, a explicabilidade permite identificar quais variáveis, como nível de glicose, IMC e histórico familiar, mais influenciam a classificação do risco de diabetes. Isso não apenas fornece informações valiosas para o tratamento, mas também pode orientar mudanças no estilo de vida.

O método de XAI SHAP é uma abordagem que busca oferecer interpretações compreensíveis sobre como modelos de aprendizado de máquina tomam decisões. Baseado na teoria dos jogos, o SHAP atribui a cada recurso (ou variável) uma contribuição para a previsão do modelo, permitindo que os usuários entendam como e por que uma determinada decisão foi tomada [22].

Matematicamente, a explicação de SHAP para uma previsão pode ser expressa da seguinte forma:

$$\phi_j(x) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{j\}} \frac{|S|! (|N| - |S| - 1)!}{|N|!} (f(S \cup \{j\}) - f(S)) \quad (10)$$

em que $\phi_j(x)$ representa o valor de SHAP para a característica j . O conjunto N refere-se ao total de características disponíveis. A variável S denota um subconjunto de características que não inclui j . A função $f(S)$ representa a previsão do modelo utilizando apenas as características presentes no subconjunto S . O termo $f(S \cup \{j\}) - f(S)$ quantifica a contribuição marginal da característica j quando ela é adicionada ao subconjunto S .

Ao fornecer explicações para as previsões, SHAP ajuda a validar se o modelo está tomando decisões lógicas e coerentes com o conhecimento prévio sobre o problema.

V. RESULTADOS

O modelo de rede neural sequencial foi definido com várias camadas densas e *dropout* para regularização. A primeira camada tinha 256 neurônios com ativação ReLU, seguida por uma camada *dropout* com taxa de 25% para prevenir *overfitting*. A segunda camada possuía 128 neurônios também com ativação ReLU, seguida por outra camada *dropout* com taxa de 1%, e a terceira camada contava com 64 neurônios com ReLU. Na camada final de saída a função ativação sigmoide foi utilizada para gerar uma única previsão, adequada para um problema de classificação binária. O modelo foi compilado com a função de perda de entropia cruzada, o otimizador Adam com taxa de aprendizado de 0.001. Durante o treinamento, utilizou-se a técnica de parada antecipada, que monitorou a perda de validação e restaurou os melhores pesos, interrompendo o treinamento quando o desempenho sobre os dados de validação deixou de melhorar após 80 épocas, garantindo a melhor performance do modelo sem desperdício de recursos computacionais. Observa-se na Figura 2 o gráfico da função perda.

Nas Figuras 3 e 4 é possível observar as matrizes de confusão para os dados de treino e teste de classificação para detecção de diabetes. A matriz de confusão dos dados de teste mostra uma performance menor em comparação ao treino, com uma quantidade maior de falsos negativos e falsos positivos. O número de falsos negativos no conjunto de teste ainda é significativo, o que pode ser problemático, especialmente em um cenário clínico em que a não detecção de diabetes pode ter consequências graves.

A partir da Tabela II, pode-se inferir que as métricas de desempenho do modelo. Ele consegue equilibrar bem a

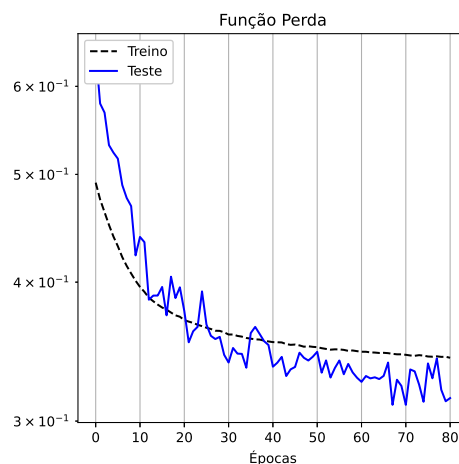


Fig. 2. Função perda durante as épocas.

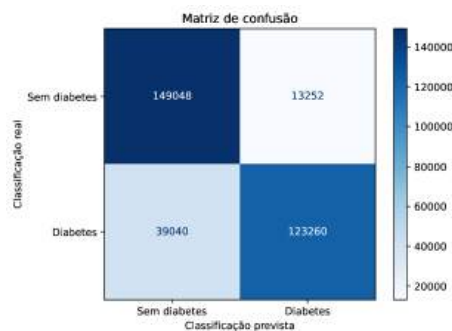


Fig. 3. Matriz de confusão dos dados de treino.



Fig. 4. Matriz de confusão dos dados de teste.

identificação correta dos casos positivos (diabetes) e evitar falsos positivos.

Na Figura 5 é ilustrado o impacto das variáveis de entrada no diagnóstico de diabetes no modelo de rede neural proposto. As variáveis relacionadas à saúde geral, idade, IMC, colesterol e pressão arterial são as que mais contribuem para a previsão de diabetes no modelo, com um impacto significativo de

TABLE II
RESULTADOS DAS MÉTRICAS DE DESEMPENHO DO MODELO

Acurácia	Precisão	Sensibilidade	F1-Score
0.8342	0.8277	0.8342	0.8308

estilos de vida saudáveis (atividade física, consumo de frutas) e fatores socioeconômicos.



Fig. 5. Variáveis que mais impactam no diagnóstico de positivo ou negativo de diabetes.

Já a Figura 6 ilustra como os valores de cada variável impacta na previsão de diabetes. Neste caso, saúde geral, idade e IMC (Índice de Massa Corporal), colesterol alto, pressão alta são as variáveis que mais impactam o modelo. Valores mais altos (em vermelho) dessas variáveis estão fortemente associados a um aumento na probabilidade de diagnóstico de diabetes, enquanto valores mais baixos (azul) têm impacto negativo, ou seja, diminuem a probabilidade de diagnóstico. O gráfico de SHAP torna claro que o modelo identifica corretamente fatores de risco conhecidos para diabetes, e suas previsões são fortemente influenciadas por esses fatores.

A Figura 7 ilustra a dependência da idade com a saúde geral dos indivíduos consultados.

A Figura 8 ilustra uma explicação local usando valores SHAP para um caso específico no diagnóstico de diabetes. As variáveis em vermelho estão puxando o valor de saída para mais próximo de um diagnóstico de diabetes. Já as variáveis em azul estão puxando o valor de saída para mais longe de um diagnóstico de diabetes. As variáveis mais importantes que aumentaram a chance de diagnóstico foram a pressão

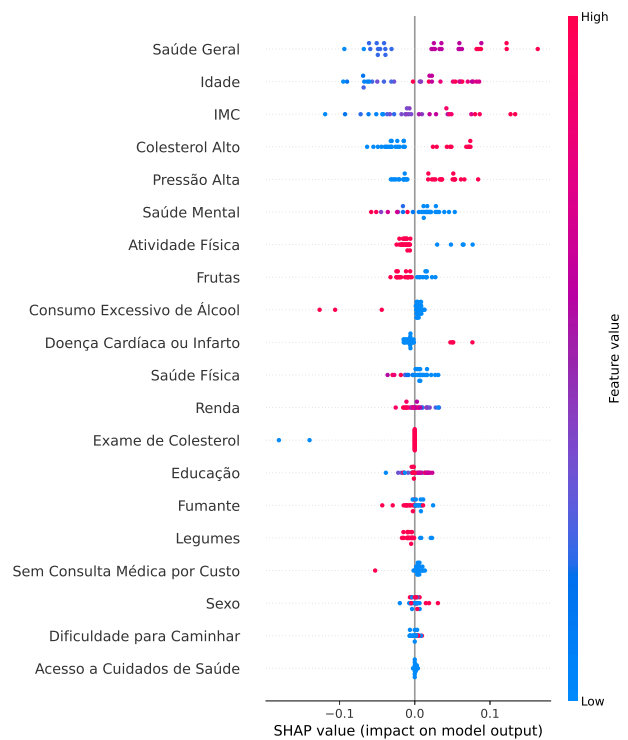


Fig. 6. Variáveis que mais impactam no diagnóstico de diabetes.

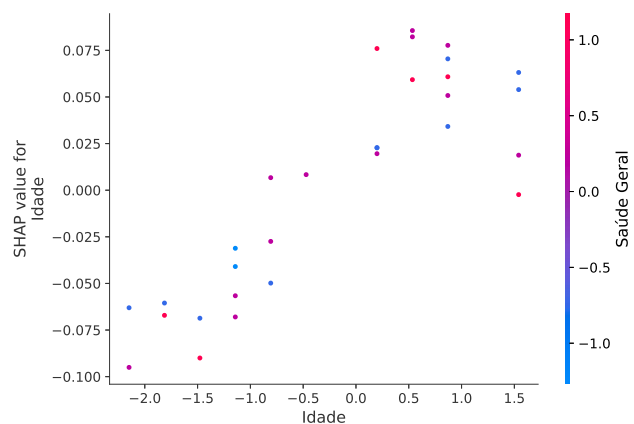


Fig. 7. Relação de dependência entre a idade e a saúde geral dos indivíduos consultados.

alta, o colesterol elevado e a idade avançada, enquanto fatores como um IMC mais baixo, uma boa saúde geral e o sexo contribuíram para reduzir a probabilidade de diabetes. O gráfico mostra como o modelo balanceia essas influências individuais para chegar a uma previsão final.

VI. CONCLUSÃO

Utilizando uma rede MLP e explicabilidade do modelo, este trabalho permitiu uma compreensão mais profunda dos fatores

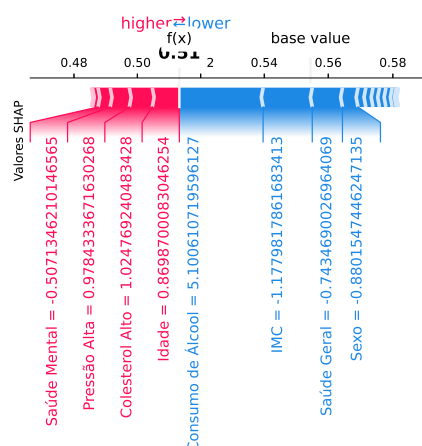


Fig. 8. Explicação local para diagnóstico de diabetes.

que mais impactam as previsões de diabetes do modelo MLP, como saúde geral, idade, IMC e pressão alta. As métricas obtidas, como acurácia de 83,42%, precisão de 82,77%, sensibilidade de 83,42% e F1-Score de 83,08%, indicam que o modelo apresenta um desempenho equilibrado, sendo capaz de identificar corretamente a maioria dos casos de diabetes. Portanto, o uso de redes neurais, combinado com técnicas de explicabilidade, pode melhorar o diagnóstico precoce de diabetes, auxiliando profissionais de saúde na identificação de pacientes em risco. Como trabalhos futuros, propõe-se a investigação de outras variáveis presentes na base BRFSS, a fim de identificar atributos que possam aprimorar a performance dos modelos preditivos para o diagnóstico do diabetes tipo 2. Adicionalmente, sugere-se a busca por bases de dados nacionais com características semelhantes, como aquelas disponibilizadas pelo DataSUS, com o objetivo de treinar e validar o modelo desenvolvido em um contexto nacional.

REFERENCES

- [1] Vivekanand Aelgani, Suneet K Gupta, and VA Narayana. Local agnostic interpretable model for diabetes prediction with explanations using xai. In *Proceedings of Fourth International Conference on Computer and Communication Technologies: IC3T 2022*, pages 417–425. Springer, 2023.
- [2] Ahmed F Ashour, Mostafa M Fouda, Zubair Md Fadlullah, and Mohamed I Ibrahim. Optimized neural networks for diabetes classification using pima indians diabetes database. In *2024 IEEE 3rd International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI)*, pages 1–7. IEEE, 2024.
- [3] CDC - Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <https://www.cdc.gov/brfss/>. Acessado em: [data de acesso].
- [4] Tin-Chih Toly Chen, Hsin-Chieh Wu, and Min-Chi Chiu. A deep neural network with modified random forest incremental interpretation approach for diagnosing diabetes in smart healthcare. *Applied Soft Computing*, 152:111183, 2024.
- [5] Chun-Yang Chou, Ding-Yang Hsu, and Chun-Hung Chou. Predicting the onset of diabetes with machine learning methods. *Journal of Personalized Medicine*, 13(3):406, 2023.
- [6] Ambika Choudhury and Deepak Gupta. A survey on medical diagnosis of diabetes using machine learning techniques. In *Recent Developments in Machine Learning and Data Analytics: IC3 2018*, pages 67–78. Springer, 2019.
- [7] Martin Cooper. Turing talk 2022. *ITNOW*, 64(2):35, 2022.
- [8] Francesco Curia. Explainable and transparency machine learning approach to predict diabetes develop. *Health and Technology*, 13(5):769–780, 2023.
- [9] Arianna Dagliati, Simone Marini, Lucia Sacchi, Giulia Cogni, Marsida Teliti, Valentina Tibollo, Pasquale De Cata, Luca Chiovato, and Riccardo Bellazzi. Machine learning methods to predict diabetes complications. *Journal of diabetes science and technology*, 12(2):295–302, 2018.
- [10] Data Science Academy. *Deep Learning Book*. 2022.
- [11] Henock M Deberneh and Intaek Kim. Prediction of type 2 diabetes based on machine learning algorithm. *International journal of environmental research and public health*, 18(6):3317, 2021.
- [12] Diabetes 365. Insulinoterapia: quando e como. Disponível em: <https://www.diabetes365.pt/cuidar/insulinoterapia-quando-como-e-onde/>. Acessado em: [data de acesso].
- [13] Muhammad Exell Febrian, Fransiskus Xaverius Ferdinan, Gustian Paul Sendani, Kristien Margi Suryanigrum, and Rezki Yunanda. Diabetes prediction using supervised machine learning. *Procedia Computer Science*, 216:21–30, 2023.
- [14] Centers for Disease Control, Prevention, et al. BRFSS: Behavioral risk factor surveillance system. *Prevalence and trends data, Michigan 2000 health status*, 2015.
- [15] Yazan Jian, Michel Pasquier, Assim Sagahyroon, and Fadi Aloul. A machine learning approach to predicting diabetes complications. In *Healthcare*, volume 9, page 1712. MDPI, 2021.
- [16] R. Johnson and M. Lee. Predictive diabetes using supervised machine learning techniques. *International Journal of Data Science*, 18(2):89–102, 2022.
- [17] Ioannis Kavakiotis, Olga Tsave, Athanasios Salifoglou, Nicos Maglav-eras, Ioannis Vlahavas, and Ioanna Chouvarda. Machine learning and data mining methods in diabetes research. *Computational and structural biotechnology journal*, 15:104–116, 2017.
- [18] Jobeda Jamal Khanam and Simon Y Foo. A comparison of machine learning algorithms for diabetes prediction. *Ict Express*, 7(4):432–439, 2021.
- [19] Md Maniruzzaman, Md Jahanur Rahman, Benojir Ahammed, and Md Menhazul Abedin. Classification and prediction of diabetes disease using machine learning paradigm. *Health information science and systems*, 8:1–14, 2020.
- [20] P. Martinez and L. Zhang. Rondon forest algorithm for the classification of health data. *Computational Health Informatics*, 9(4):130–145, 2023.
- [21] Muhammad Azeem Sarwar, Nasir Kamal, Wajeeha Hamid, and Munam Ali Shah. Prediction of diabetes using machine learning algorithms in healthcare. In *2018 24th international conference on automation and computing (ICAC)*, pages 1–6. IEEE, 2018.
- [22] M Scott, Lee Su-In, et al. A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30:4765–4774, 2017.
- [23] J. Smith and A. Doe. Diabete health indicators dataset. *Journal of Machine Learning Applications*, 14(3):45–60, 2021.
- [24] Priyanka Sonar and K JayaMalini. Diabetes prediction using different machine learning approaches. In *2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pages 367–371. IEEE, 2019.

Metodologia de Projeto de um Protótipo Didático de Pêndulo Invertido Utilizando Impressão 3D

Diego Nascimento de Oliveira, Cecilio Martins de Sousa Neto
 Universidade Federal Rural do Semi-Árido
 Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros-CMPF
 E-mail: diego.oliveira24023@alunos.ufersa.edu.br
 E-mail: cecilio.martins@ufersa.edu.br

Resumo—O ensino de sistemas de controle desempenha um papel essencial na formação acadêmica, exigindo ferramentas didáticas que proporcionem uma compreensão integrada dos conceitos teóricos e práticos. Bancadas experimentais e equipamentos didáticos permitem que os estudantes analisem a dinâmica dos sistemas sob diferentes perspectivas, como matemática, física e mecânica. Neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de um protótipo didático de pêndulo invertido, utilizando impressão 3D, para auxiliar no ensino de sistemas de controle. O projeto incluiu a modelagem das peças no software Fusion 360, o fatiamento no Ultimaker Cura e a impressão em uma impressora GTMax3D. Os resultados indicam que a metodologia adotada viabiliza a construção de um equipamento funcional, proporcionando aos estudantes uma abordagem prática para a aprendizagem de técnicas de controle e estabilidade de sistemas dinâmicos.

Palavras-Chave—Pêndulo invertido, ensino de sistemas de controle, impressão 3D, protótipo didático.

I. INTRODUÇÃO

O ensino dos conceitos teóricos e práticos de sistemas de controle são essenciais na conquista de uma educação efetiva. Em geral, bancadas didáticas e equipamentos são utilizados como ferramentas didáticas no desenvolvimento ou fixação de conceitos científicos, permitindo aos estudantes realizarem análises da dinâmica do ponto de vista matemático, físico e mecânico. Desta forma, a utilização de metodologias de ensino que possam introduzir os conceitos teóricos e práticos ao estudante de sistemas de controle e suas aplicabilidades consistem em elementos cruciais no processo de ensino-aprendizagem [1].

Na literatura são relatados a utilização de diversos sistemas robóticos que podem ser usados no ensino e na pesquisa da teoria de sistemas de controle, robótica e automação. Dentre estes, o pêndulo invertido é considerado um dos mais relevantes devido principalmente à sua estrutura relativamente simples, tendo aplicação em estudos nas áreas de controle de lançamento de foguetes espaciais, equilíbrio de robôs e estabilização de veículos autônomos. De um modo geral, o sistema de pêndulo invertido consiste em uma haste posicionada de forma perpendicular a uma base móvel, a gravidade faz a haste cair, provocando um deslocamento angular livre, sendo considerado como um sistema naturalmente instável. Entretanto, é possível alcançar a estabilidade aplicando uma força horizontal na base móvel, permitindo que o pêndulo se mantenha equilibrado na posição vertical [?], [2], [3].

Segundo [4], na literatura existem diferentes tipos de configurações do sistema pêndulo invertido, tais como: pêndulo invertido sobre um carro, pêndulo invertido rotacional, pêndulo invertido sobre duas rodas e pêndulo invertido duplo, conforme ilustrado na Figura 1. De acordo com a Figura 1, o pêndulo sobre um carro é composto por quatro rodas, geralmente acionadas por um motor de corrente de contínua, sendo a haste apoiada em um ponto de giro no centro do carro. Por outro lado, o pêndulo invertido rotacional é composto por um braço rotativo em que sua extremidade é acoplada ao pêndulo. O pêndulo invertido sobre duas rodas consiste em uma estrutura de duas rodas presa a uma haste fixa. Enquanto que, o pêndulo invertido duplo é composto por duas hastes acopladas uma na extremidade da outra.

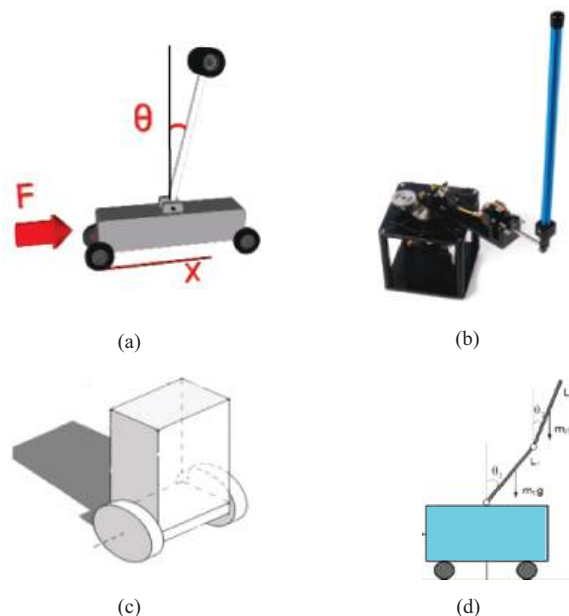


Figura 1. Configurações de pendulo invertido: (a) sobre um carro; (b) rotacional; (c) sobre duas rodas; (d) duplo sobre um carro.

A construção das partes que constituem o sistema do pêndulo invertido pode ser desenvolvida por meio de diversas técnicas e materiais. Nos últimos anos a impressão tridimensional (3D) tem permitido a criação e o desenvolvimento

de projetos em diversas áreas e com representações gráficas bastante detalhadas e realistas. A técnica de impressão 3D permite que o projetista possa criar objetos em três dimensões a partir de um modelo digital. O processo é aditivo, ou seja, o material é adicionado camada por camada para formar a estrutura desejada. Além disso, diferentemente do processo convencional, como por exemplo a usinagem que modelam o objeto removendo material, a impressão 3D constrói o objeto adicionando material com precisão, gerando pouco desperdício [5].

O processo de desenvolvimento de um projeto utilizando a impressão 3D inicia-se com a elaboração de rascunhos considerando as dimensões físicas do objeto a ser desenvolvido. Após essa etapa, é realizada a modelagem 3D do objeto utilizando *softwares* de desenho. Depois da modelagem do objeto é necessário realizar o fatiamento da peça por meio de um *software*. O software de fatiamento tem por finalidade cortar a peça em camadas e conectar o modelo 3D com a peça que será produzida pela impressora 3D. O *software* de fatiamento da peça também permite ao projetista escolher os padrões de densidade de preenchimento dinâmico, necessidade de suportes e tempo estimado de impressão da peça [5]–[7].

A peça é impressa por meio de um processo de deposição fundida em que um filamento, geralmente de plástico, parcialmente derretido é estrudado por um bico fino e em seguida é depositado em uma superfície plana formando assim a peça tridimensional. O processo de impressão 3D camada a camada utiliza vários tipos de materiais plásticos, sendo os mais utilizados o ABS (do inglês, *Acrylonitril Butadiene Styrene*) e o PLA (do inglês, *Polyactic Acid*). No final deste processo de impressão tem uma peça de excelente acabamento e bastante sólida [5]–[7].

Com base nesse contexto, nesse artigo é apresentada uma metodologia de projeto para desenvolvimento de um protótipo de pêndulo invertido, montado sobre um carro, utilizando impressão 3D. As partes que constituem o protótipo foram modeladas por meio da plataforma de *software* Fusion 360, sendo este amplamente utilizado em diversos projetos de engenharia e manufatura de produtos. O fatiamento das peças modeladas foram realizados pelo *software* Ultimaker Cura 3D, sendo este um *software* de código aberto e gratuito. Com base no protótipo de pêndulo invertido desenvolvido, a modelagem, impressão e montagem das partes constituintes demonstram a eficácia do projeto elaborado neste trabalho.

II. METODOLOGIA DE PROJETO

O sistema pêndulo invertido é uma importante ferramenta utilizada no ensino de disciplinas de sistemas de controle, sendo utilizado na análise de teorias de sistemas de controle clássicas e modernas, técnicas de controle contínua e discreta. Com base, neste contexto, neste trabalho um protótipo de pêndulo invertido foi desenvolvido considerando as seguintes etapas: modelagem das partes constituintes, impressão das peças, componentes eletrônicos e montagem do protótipo.

A. Modelagem das Partes do Projeto

A modelagem das partes que constituem o protótipo de pêndulo invertido, apresentado neste trabalho, foi desenvolvida

por meio do *software* Fusion 360. Com a utilização do Fusion 360 o projetista poderá modelar e montar as partes do projeto. Além disso, o mesmo fornece ferramentas que possibilitam a criação de vistas ortográficas, testes de estresse e sincronização de projetos em nuvem. O pêndulo desenvolvido neste trabalho é composto das seguintes partes: um chassi, uma base superior, um suporte para os rolamentos, um eixo e um suporte para o encoder. A modelagem das partes no Fusion 360 podem ser realizadas a partir de desenhos das vistas ortogonais criadas em 2D. As vistas ortogonais em 2D permitem ao projetista definir as dimensões e geometrias de seus modelos. Para isso, o Fusion 360 dispõe de diversas ferramentas de projeto, como por exemplo: ferramenta de linha, círculo, retângulo, arco, restrições e dimensões. Desta forma, o projeto pode ser desenvolvido considerando partes individuais ou em uma montagem completa. Na Figura 2 são apresentados os desenhos em 2D das partes modeladas para o desenvolvimento do projeto de pêndulo invertido. De acordo com a Figura 2, as partes do protótipo de pêndulo invertido foram desenvolvidas com base nos desenhos individuais das vistas ortogonais em 2D do projeto.

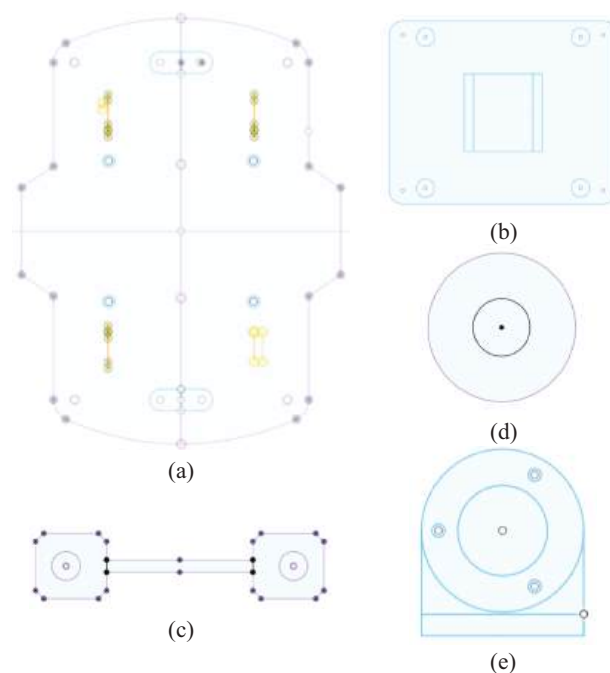


Figura 2. Desenhos das partes em 2D: (a) chassi; (b) base superior; (c) suporte para os rolamentos; (d) eixo; (e) suporte para o encoder.

Após a criação das vistas ortogonais em 2D das partes, o projetista poderá realizar a criação de superfícies e sólidos 3D a partir da geometria 2D por meio da ferramenta de extrusão. Neste caso, o projetista deverá selecionar os objetos ou subobjetos de arestas que receberão a extrusão, qual tipo de extrusão será realizada, o plano de perfil, qual o deslocamento realizado em relação ao plano de perfil, a direção que pode ser de um lado, dois lados ou simétrica e o tipo de extrusão especificada ou se a extrusão irá ocorrer em relação a um corpo, face ou plano selecionado. Na Figura 3 são apresentadas

as partes do protótipo de pêndulo invertido após a extrusão dos desenhos ilustrados na Figura 2.

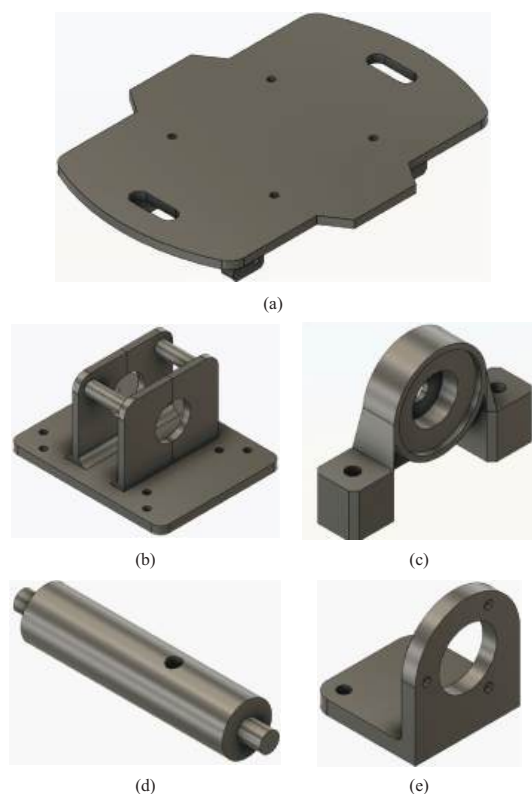


Figura 3. Partes do pêndulo invertido: (a) chassi; (b) base superior; (c) suporte para os rolamentos; (d) eixo; (e) suporte para o encoder.

Com os componentes que constituem o projeto desenvolvido, após a realização do processo de extrusão, o projetista poderá realizar a montagem com todos os componentes internos, externos ou a mistura de ambos. Para isso, será utilizada a ferramenta *Assemble* que consiste em uma coleção de vários componentes que funcionam como um único projeto. A realização dessa montagem tem por objetivo demonstrar ao projetista a disposição dos componentes e uma prévia de como ficará a montagem física das partes do projeto. Com base nisso, na Figura 4 é apresentada a montagem prévia das partes do protótipo de pêndulo desenvolvido nesse trabalho. De acordo com a Figura 4, além das partes modeladas também foram incluídas na montagem o conjunto de motores e rodas e a haste do pêndulo.



Figura 4. Montagem das partes do pêndulo invertido.

B. Impressão das Partes do projeto

Após a realização da modelagem 3D das partes do projeto o projetista deverá realizar o processo de fatiamento. Neste caso, um *software* de fatiamento irá fatiar o modelo informando à máquina de impressão quais camadas deverão ser criadas. Portanto, o *software* de fatiamento utiliza o arquivo 3D, geralmente na extensão *Standard Triangle Language* (STL), gerando o arquivo para o formato g-code. O código g-code consiste em uma linguagem de programação utilizada em máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), tendo como objetivo a realização de operações de movimento, corte e perfurações.

O fatiamento das partes que compõem o protótipo de pêndulo invertido desenvolvido neste trabalho foi realizado utilizando o *software Ultimaker Cura*, um fatiador de código aberto desenvolvido tanto por uma equipe interna quanto por contribuições da comunidade de usuários. Essa ferramenta possui integração simples com diversos softwares CAD e suporta múltiplos formatos de arquivos. Por meio dela, o projetista pode definir as configurações da impressora utilizada, os parâmetros de impressão e o tipo de filamento empregado. No fatiamento, foram consideradas as seguintes configurações: impressora GTMax3D, filamento ABS de 1,75 mm, preenchimento de 50% em padrão de linhas, temperatura do bico da extrusora em 230°C, temperatura da mesa de impressão em 80°C, velocidade de 60 mm/s, colocação de suportes onde necessário e espessura de parede de 0,8 mm. Na Figura 5, é apresentado o processo de fatiamento da base superior e dos suportes dos rolamentos.

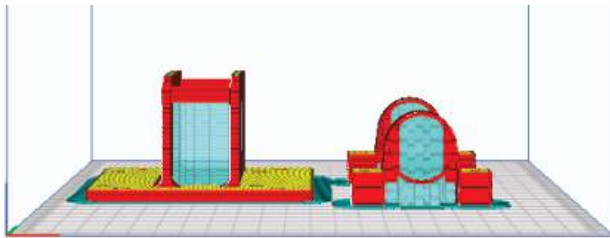


Figura 5. Processo de fatiamento das partes.

O modelo de máquina de impressão utilizado para a fabricação das partes do protótipo foi a GTMax3D ProCore A2V2, uma impressora robusta e compacta, com área de impressão de 220x220x240 mm. Além disso, o equipamento oferece detecção e troca automática de filamentos, velocidade de deslocamento de até 300 mm/s e qualidade de impressão variando de 0,05 mm a 0,32 mm. Seu bico atinge uma temperatura máxima de 295°C, e o *software Ultimaker Cura* é o recomendado para o fatiamento dos modelos. A mesa, feita de alumínio com tampo de vidro, pode operar a uma temperatura máxima de 135°C. Na Figura 6, é apresentada a impressora em funcionamento, realizando a impressão de uma das peças que compõem o protótipo de pêndulo invertido desenvolvido neste trabalho.



Figura 6. Processo de impressão utilizando a GTMax3D ProCore A2V2.

C. Componentes Eletrônicos e Montagem do Protótipo

O protótipo de pêndulo invertido desenvolvido nesse trabalho é composto pelos seguintes componentes eletrônicos: conjunto motor de corrente contínua e roda, ponte H L298n, encoder incremental e placa de desenvolvimento Wemos D1 esp32.

1) *Conjunto Motor de Corrente Contínua e Roda*: O conjunto motor de corrente contínua e roda, apresentado na Figura 7, é bastante utilizado na construção de diversos modelos de robôs. O motor de corrente contínua é bem leve, possui um alto conjugado, baixa rotações por minuto, pode ser alimentado por

uma tensão de 3 a 6V, corrente nominal de 70mA e máxima de 250mA e uma caixa de redução de 1:48. A roda possui um diâmetro 66mm e pode ser montada de qualquer lado do motor devido ao eixo estendido nas duas direções [8].



Figura 7. Conjunto motor de corrente contínua e roda.

2) *Ponte H L298n*: A ponte H L298n, ilustrada na Figura 8, utilizada no acionamento dos motores CC é baseada no chip L298n, sendo indicada no controle de solenóides, motores CC, motores de passo e cargas indutivas como relés. Além disso, possui uma tensão de operação de 4 a 35V, corrente de operação máxima de 2A por canal, potência máxima de 25W e pode controlar velocidade e sentido de rotação de até dois motores CC simultaneamente ou um motor de passo [9].



Figura 8. Ponte H L298n.

3) *Encoder Incremental*: O encoder incremental rotativo, modelo E38S6G5-600B-G24N, apresentado na Figura 9 é capaz de determinar com precisão a posição angular de um eixo acoplado ao seu sistema. A posição angular é obtida com base no número de pulsos fornecido, neste caso são 600 pulsos por revolução. Este modelo possui uma fácil instalação por ser bastante leve e pequeno. Além disso, pode operar normalmente a 2000 RPM, sendo 5000 RPM a velocidade máxima de operação por um curto período de tempo, possui um codificador óptico com seleção em 360 graus, saída em coletor aberto NPN com leitura precisa em duas fases, consumo baixo de até 400 mA, frequência de resposta de 0 a 100KHz e alimentação de 5 a 24 V em corrente contínua [10].



Figura 9. Encoder incremental.

4) *Placa de desenvolvimento Wemos D1 esp32*: A placa de desenvolvimento Wemos D1 esp32, ilustrada na Figura 10, é baseada no chip ESP8266 e combina a conectividade *bluetooth* 5 e protocolo *wifi* IEEE 802.11 que permite ao desenvolvedor a elaboração de projetos de internet das coisas e automação residencial. A placa é equipada com um processador RISC-V de 32 bits a 120 MHz, controlador PWM de LED com até seis canais e interfaces SPI, UART e I2C. Além disso, possui uma memória *flash* de 2 MB, SRAM de 272 KB e ROM de 576 KB, tensão de alimentação de 5 a 12V em corrente contínua, velocidade de *clock* de 240 MHz, tensão de operação dos pinos de entrada e saída de 3,3V, conector micro usb para alimentação e programação e pode ser programada utilizando a IDE do arduino [11].



Figura 10. Placa Wemos D1 esp.

Na Figura 11 é apresentado o protótipo de pêndulo invertido desenvolvido nesse trabalho. De acordo com a Figura 11, a montagem dos conjuntos motores de corrente contínua e roda foram conectados ao chassi com a utilização de parafusos e porcas com rosca de 3mm. O encoder foi conectado ao eixo por meio de um acoplamento de 6mm. A ponte H e a placa de desenvolvimento foram fixadas ao chassi por meio de parafusos de 3mm. O processo de montagem da base superior ao chassi foi realizado por meio de parafusos e porcas de 4 mm. Na conexão da base superior ao chassi foram utilizados parafusos e porcas no intuito de utilizar o chassi em outras aplicações, como por exemplo: um robô seguidor de linha e um robô autônomo.



Figura 11. Protótipo de pêndulo invertido desenvolvido.

III. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo didático de pêndulo invertido para auxiliar no ensino de sistemas de controle. A utilização da impressão 3D possibilitou a fabricação de um modelo funcional, demonstrando sua viabilidade para aplicações educacionais. A metodologia empregada, desde a modelagem das peças até a montagem dos componentes eletrônicos, revelou-se eficiente, permitindo a construção de um protótipo robusto e de fácil replicação. Como trabalhos futuros, sugere-se a realização da modelagem matemática do sistema, análise da resposta do sistema sem controle, implementação e análise de técnicas de controle, realização de testes experimentais para aprimorar a estabilidade e a resposta do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Breganon, R. A. et al (2021). Desenvolvimento de Sistemas de Pêndulos Invertidos como Ferramentas Didáticas em Cursos de Engenharia de Controle e Automação. HOLOS, volume 5, páginas 1-14.
- [2] SANTOS, A. B. et al. Desenvolvimento de um robô móvel dístico de auto balanceamento. Relatório Final (Graduação em Engenharia de Computação) ? Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFP), Curitiba, 2015.
- [3] SILVA, Hugo José Duarte et al. Estudo comparativo entre os controladores fuzzy e PID aplicados ao controle de um pêndulo invertido utilizando plataforma Lego Mindstorms NXT. 2013.
- [4] PIRES, Laio da Silva. Técnicas de controle para robôs tipo pêndulo invertido. 2023. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2023.

- [5] AGUIAR, L. C. D. Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2016.
- [6] AZEVEDO, Fabio Mariotto de. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/e06b9a3a-986c-45dc-8228797043c30b37/Azevedo_Fabio_Mariotto.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.
- [7] CAVALCANTE, Alexandre Araripe. Correlação entre Parâmetros de Impressão 3D e a Resistência Mecânica Anisotrópica de Peças Impressas em PLA. 2022.
- [8] Adafruit. DC Gearbox Motor - "TT Motor- 200RPM - 3 to 6VDC. Disponível em: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Adafruit%20PDFs/3777_Web.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.
- [9] Datasheet: Dual full-bridge driver L298n. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf>, 2023.
- [10] JZYEB. Datasheet E38S6G5-600B-G24N – Incremental Rotary Encoder. Disponível em: https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/e38s_jz-yeba.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.
- [11] Placa WeMos D1 R32 ESP32 WiFi - Bluetooth. Disponível em: <https://handsontec.com/dataspecs/module/ESP/WeMos%20D1%20R32.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

Drone Controlado por Gestos Manuais Classificados por Rede Neural

Henrique Antônio Guanais Corneau

Grad. em Eng. Mecatrônica

Univ. Fed. do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

<https://orcid.org/0009-0004-8815-7842>

João Victor do N. R. de Andrade

Grad. em Eng. de Computação

Univ. Fed. do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

<https://orcid.org/0009-0001-5004-578X>

Ramon Vinícius Ferreira de Souza

Grad. em Eng. de Computação

Univ. Fed. do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

<https://orcid.org/0009-0000-5076-1842>

Bruno Marques Ferreira da Silva

Prog. de Pós-Grad. em Eng. Mecatrônica

Univ. Fed. do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-7780-7254>

Abstract—Este trabalho apresenta um sistema de controle para drones baseado em gestos manuais, utilizando redes neurais para a detecção e classificação dos gestos. A solução proposta foi implementada no drone DJI Tello, um modelo comercial de baixo custo e programação aberta. O sistema desenvolvido permite a execução de quatro ações pré-determinadas: decolagem, pouso, permanência em posição fixa e rastreamento da mão. Os testes foram conduzidos em um ambiente controlado, sem interferências externas e com iluminação adequada. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia do sistema, validando o uso de redes neurais para o controle intuitivo de drones acessíveis e de fácil implementação.

Index Terms—Drones; Gestos Manuais; Redes Neurais.

I. INTRODUÇÃO

As redes neurais são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, na medida em que é capaz de aprender padrões e realizar tarefas complexas ao serem treinadas, como classificação de imagens, reconhecimento de gestos e controle de sistemas autônomos [1].

No campo do reconhecimento de pontos de referência do corpo humano em imagens e vídeos, o MediaPipe [2] se destaca como uma ferramenta notável. Desenvolvido pelo Google, este software de código aberto simplifica a construção de fluxos de processamento de dados para identificar e acompanhar pontos de referência em tempo real. Esses pontos, que denominam-se *landmarks*, são pontos específicos em um objeto, como a mão ou o rosto e seus respectivos elementos, como olhos, boca, nariz, palma e dedos [3]. O MediaPipe é particularmente útil para analisar imagens e vídeos com precisão, pois permite armazenar apenas os *landmarks*, em vez de imagens completas, aumentando significativamente a eficiência, como embasado em [4]. No presente trabalho, esses *landmarks* foram utilizados como base para a criação de um conjunto de dados com 4.927 amostras, coletadas manualmente por um usuário e distribuídas entre quatro categorias de gestos. Cada amostra é formada por 21 desses pontos de referência, cada um contendo as coordenadas bidimensionais

(x, y) normalizadas, correspondentes à posição dos pontos característicos da mão em cada imagem capturada.

As tecnologias de reconhecimento gestual já são uma realidade, como exemplificado pelo Kinect da Microsoft, que demonstra a versatilidade desses recursos. Tal fato abre caminho para aplicações em diversos setores, incluindo o monitoramento ambiental com câmeras e drones, permitindo a interpretação de gestos e expressões para identificar possíveis situações de risco [5].

Apesar dos avanços tecnológicos, ainda há desafios significativos no controle de drones por gestos. Muitas abordagens exigem dispositivos adicionais ou demandam alto poder computacional, o que limita sua aplicabilidade em sistemas embarcados e em contextos com recursos limitados. Diante disso, este trabalho propõe-se a enfrentar a seguinte problemática: seria possível desenvolver um sistema de controle gestual para drones que seja eficiente e de baixo custo computacional, utilizando tecnologias acessíveis?

Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de controle para drones baseado no reconhecimento de gestos, integrando a detecção da mão por meio do MediaPipe com uma rede neural do tipo Multi-Layer Perceptron (MLP), treinada usando o TensorFlow para classificar diferentes comandos (gestos). Com base na interpretação desses comandos, o drone é capaz de executar ações como decolagem, pouso e rastreamento da mão. O objetivo principal deste estudo foi explorar a viabilidade do uso de redes neurais para o controle de veículos aéreos não tripulados, avaliando sua precisão e desempenho.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Já existem na bibliografia diversos trabalhos que têm como objetivo propor diferentes formas de controlar um drone, eliminando métodos convencionais, como o rádio controle. Referências como [6] e [7] sugerem o uso das mãos para esse controle. No entanto, esses estudos fazem uso de dispositivos externos, que são, respectivamente, um Leap Motion

Controller e um Wearable Device equipado com IMU, o que pode ser útil em alguns cenários. Entretanto, a necessidade desses dispositivos adiciona uma etapa extra na fabricação ou aquisição do sistema.

Outros trabalhos, como [8], utilizam Convolutional Neural Networks (CNNs) para a detecção de gestos de mão, treinados a partir de imagens. O trabalho em específico utilizou SSD (Single Shot MultiBox Detector), que utiliza CNNs como base para realizar detecção de objetos em imagens [9].

O trabalho de [10] apresenta uma abordagem eficiente para o reconhecimento de gestos dinâmicos de mão baseada em redes neurais convolucionais tridimensionais (3D CNNs). O classificador proposto realiza a fusão de volumes de movimento, combinando mapas de profundidade normalizados e valores de gradiente de imagem extraídos de sequências temporais de vídeo.

Essas abordagens podem ser vantajosas em cenários onde é necessário extrair informações detalhadas da mão detectada. No entanto, pode demandar um alto custo computacional.

Já [3] adotou uma abordagem baseada no cascade classifier de Haar features, na qual primeiro foram extraídas as Haar features das imagens de gestos de mão e, em seguida, o algoritmo AdaBoost foi utilizado para o treinamento do classificador. Essa metodologia se destaca pela eficácia em cenários com imagens de baixa qualidade, como em condições de pouca iluminação ou baixa resolução. Além disso, apresenta menor complexidade e custo computacional em comparação com redes neurais convolucionais (CNNs), sendo, portanto, ideal para aplicações em tempo real e ambientes com recursos limitados.

Dessa forma, este trabalho propõe uma abordagem diferente para a detecção de gestos de mão. Em vez de treinar uma rede neural para reconhecer gestos diretamente, utiliza-se uma rede já existente para detectar a mão e seus *landmarks*, que são pontos específicos nas articulações e regiões chave da mão, como as pontas dos dedos e a palma. Em seguida, uma nova rede neural é treinada para classificar os gestos com base nas coordenadas desses *landmarks*.

Essa abordagem é mais eficiente em comparação com as propostas dos trabalhos mencionados anteriormente, se destacando pela facilidade de implementação e pelo baixo custo computacional.

III. MÉTODOS

A abordagem proposta para o controle de drones por gestos de mão envolve três etapas principais: recebimento e processamento da imagem, reconhecimento dos gestos e envio de comandos ao drone. Para isso, o método combina técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, utilizando o OpenCV para o processamento de imagens, MediaPipe para a detecção da mão e extração de pontos-chave, os *landmarks*, e TensorFlow para a classificação dos gestos. O desenvolvimento de todo o projeto foi realizado na linguagem Python e o drone utilizado neste trabalho é o DJI Tello, um modelo compacto e acessível amplamente empregado em aplicações educacionais e de pesquisa.

A captura da imagem é realizada pela câmera do drone, sendo transmitida para um computador via Wi-Fi. O fluxo de vídeo recebido é pré-processado, e em seguida utiliza-se o MediaPipe Hands, identificando a posição da mão na imagem e fornecendo um conjunto de 21 pontos-chave representando articulações e as extremidades dos dedos. Esses pontos são organizados e formatados em formato vetorial, servindo de entrada para o modelo de aprendizado de máquina.

O reconhecimento dos gestos é realizado por meio de um modelo de classificação baseado em TensorFlow, utilizando a implementação disponível no repositório do GitHub *hand-gesture-recognition-mediapipe* [11]. O modelo foi treinado com um conjunto de dados contendo diferentes posturas da mão, cada uma associada a um comando específico. A entrada do modelo consiste nas coordenadas dos pontos-chave extraídos pelo MediaPipe, que são processados e classificados em uma das categorias definidas, como *tracking*, *stop*, *takeoff* ou *land*. A inferência ocorre em tempo real, garantindo uma resposta rápida aos comandos do usuário.

Após a classificação do gesto, o sistema converte o resultado em um comando correspondente para o DJI Tello. A comunicação com o drone é feita via protocolo UDP, utilizando a Tello SDK, que permite o envio de strings formatadas para a execução de ações específicas. Cada gesto reconhecido é mapeado para um comando distinto, sendo eles: palma aberta para *tracking* (seguindo a abordagem implementada em [12]), mão fechada para *stop*, gesto de "V" com o indicador e o médio para decolar e gesto de "L" com o polegar e o indicador para pousar o drone. Os gestos possíveis e seus respectivos comandos são mostrados na Fig. 1. Para evitar comandos indesejados devido a detecções errôneas, é aplicada uma lógica de filtragem que considera apenas gestos mantidos por um período mínimo de tempo antes da execução do comando. Um fluxograma que explica a abordagem escolhida é mostrado na Fig. 2.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para avaliar o desempenho do sistema de controle por gestos, foram conduzidos experimentos em um ambiente controlado, garantindo condições adequadas para a captura e processamento das imagens. O drone DJI Tello foi utilizado nos testes, operando em um ambiente interno com boa iluminação, assegurando a precisão na detecção da mão e no reconhecimento dos gestos. Um vídeo que mostra a execução do controle pode ser observado em [13].

O sistema foi executado em um computador equipado com um processador Intel® Core™ i5-1135G7, 32 GB de memória RAM e sem GPU dedicada. O ambiente de desenvolvimento utilizou Python 3.10, com as bibliotecas MediaPipe, TensorFlow e OpenCV. O modelo de reconhecimento de gestos foi previamente treinado e integrado ao pipeline de inferência, possibilitando a execução dos comandos em tempo real.

O modelo foi treinado com um conjunto de dados contendo 4 classes, totalizando 4.927 amostras, distribuídas de forma equilibrada entre as categorias. O dataset foi dividido em um

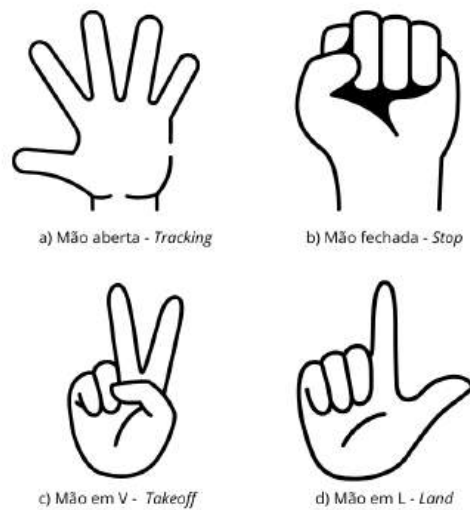


Fig. 1. Gestos e comandos.

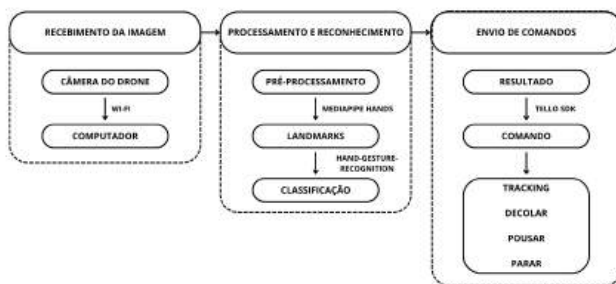


Fig. 2. Fluxograma do processo.

conjunto de treino, teste e validação, contendo, respectivamente, 75%, 12.5% e 12.5% dos dados. O treinamento foi realizado ao longo de 103 épocas, com um batch size de 128, buscando otimizar a generalização do modelo. Na avaliação final, no conjunto de testes, o modelo obteve uma acurácia de 99,52% e uma perda (loss) de 0,0488. Além disso, a inferência do modelo teve um tempo médio de execução de 63,2 us em CPU, evidenciando sua viabilidade para aplicações em tempo real. A matriz de confusão obtida é apresentada na Fig. 3. Nessa matriz, os valores 0, 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, as classes takeoff, land, stop e tracking, a relação é mostrada na Tabela I.

Para avaliar o desempenho, foram testados quatro gestos principais: palma aberta para ativar o tracking, mão fechada para stop, gesto de "V" para decolagem e gesto de "L" para pouso. Cada gesto foi avaliado em diversas condições e repetido múltiplas vezes por diferentes usuários, garantindo uma análise robusta da confiabilidade do reconhecimento. O

TABLE I
DESCRIÇÃO DAS CLASSES

Rótulo	Comando
0	Takeoff
1	Land
2	Stop
3	Tracking

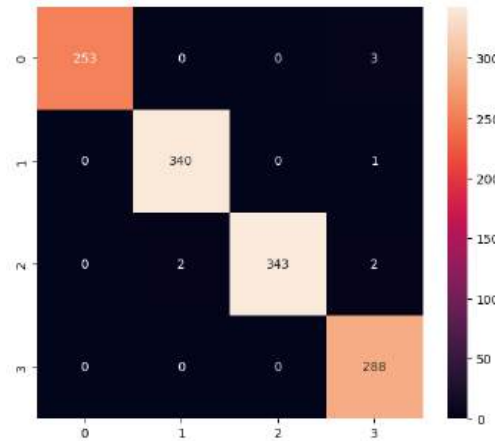


Fig. 3. Matriz de confusão.

resultado obtido da detecção desses gestos é apresentado na Fig. 4.

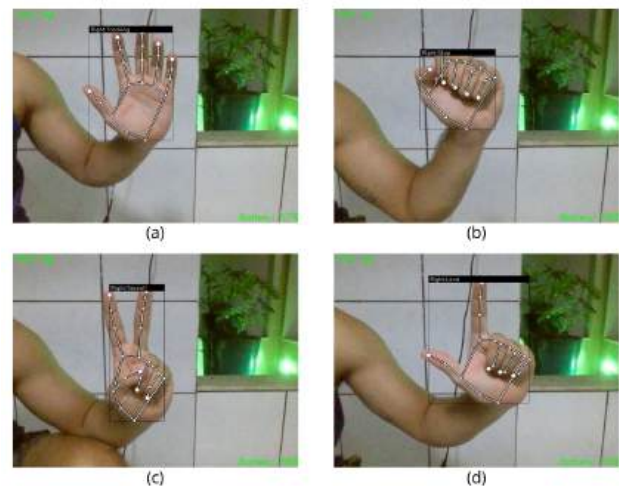


Fig. 4. Resultado da detecção.

Contudo, em ambientes com muitas pessoas, o método torna-se menos confiável, pois o MediaPipe pode se confundir na detecção de mãos, identificando, por vezes, uma mão mais distante da câmera do drone. Como o algoritmo não foi adaptado para lidar com essa situação, a detecção incorreta pode resultar no envio de comandos indesejados ao drone.

V. CONCLUSÃO

O sistema apresentou um desempenho satisfatório, no entanto, algumas limitações foram observadas. Condições de iluminação inadequadas afetaram a detecção da mão pelo MediaPipe, bem como o sistema de orientação do drone. Além disso, oclusões parciais da mão reduziram a confiabilidade do sistema em algumas situações, uma vez que é necessário que o usuário esteja sempre no campo de visão da câmera. Movimentos muito rápidos e abruptos também causaram erros na detecção, evidenciando a necessidade de um melhor tratamento dos gestos. Outro fator é a ausência de tratamento para exceções na classificação dos gestos. Isso significa que, se um gesto diferente dos treinados for apresentado ao modelo, ele será classificado como um dos gestos já aprendidos.

Em comparação com o controle por meio de dispositivos físicos, via aplicativo oficial do DJI Tello, o controle tradicional apresentou maior precisão para a execução de manobras mais complexas do que o controle por gestos, evidenciando que o método baseado em visão computacional é mais adequado para comandos básicos e interações simples e intuitivas.

A. Trabalhos Futuros

Alguns aspectos precisam de ajustes ou correções para viabilizar futuras melhorias e a implementação de novos recursos. Em especial, o controle de detecção de gestos deve ser aprimorado para aumentar a confiabilidade, reduzindo falhas na detecção, evitando confusões em caso de múltiplas mãos e garantindo um tratamento adequado para gestos não treinados.

Outro ponto de melhoria está relacionado ao drone utilizado. O DJI Tello foi escolhido por ser um drone comercial com programação aberta, o que elimina a necessidade de construir um drone do zero e facilita a implementação do programa. No entanto, ele apresenta limitações de hardware que afetam a precisão de seus movimentos. Para aplicações futuras que exijam maior precisão, será necessário optar por outro modelo de drone ou desenvolver um próprio.

Além disso, está em andamento uma investigação mais aprofundada para identificar outros cenários em que o método de controle apresenta falhas ou inconsistências.

Portanto, o projeto apresentado neste trabalho, aliado às melhorias propostas, pode contribuir significativamente para o avanço das pesquisas sobre o uso de inteligência artificial no controle de drones e veículos robóticos. Dessa forma, espera-se fomentar o uso inteligente de recursos e a integração de diversas tecnologias, impulsionando novas aplicações e inovações na área.

REFERÊNCIAS

- [1] T. W. Rauber, "Redes neurais artificiais," *Universidade Federal do Espírito Santo*, vol. 29, p. 39, 2005.
- [2] C. Lugaresi, J. Tang, H. Nash, C. McClanahan, E. Uboweja, M. Hays, F. Zhang, C.-L. Chang, M. G. Yong, J. Lee, *et al.*, "Mediapipe: A framework for building perception pipelines," *arXiv preprint arXiv:1906.08172*, 2019.
- [3] K. Natarajan, T.-H. D. Nguyen, and M. Mete, "Hand gesture controlled drones: An open source library," in *2018 1st International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS)*, pp. 168–175, 2018.
- [4] D. S. CASANOVA, P. L. DE PAULA FILHO, K. SCHENATTO, and R. SOBJAK, "Reconhecimento de expressões faciais com mediapipe," in *Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (LATINOWARE)*, (Foz do Iguaçu/PR), pp. 257–263, Sociedade Brasileira de Computação, 2024.
- [5] P. M. Hell and P. J. Varga, "Drone systems for factory security and surveillance," *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, vol. 17, no. 3-A, pp. 458–467, 2019.
- [6] A. Sarkar, K. A. Patel, R. Ganesh Ram, and G. K. Kapoor, "Gesture control of drone using a motion controller," in *2016 International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems (CIICS)*, pp. 1–5, 2016.
- [7] J.-W. Lee and K.-H. Yu, "Wearable drone controller: Machine learning-based hand gesture recognition and vibrotactile feedback," *Sensors*, vol. 23, no. 5, 2023.
- [8] S. Hadri, *HAND GESTURES FOR DRONE CONTROL USING DEEP LEARNING*. PhD thesis, 12 2018.
- [9] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. E. Reed, C. Fu, and A. C. Berg, "SSD: single shot multibox detector," *CoRR*, vol. abs/1512.02325, 2015.
- [10] P. Molchanov, S. Gupta, K. Kim, and J. Kautz, "Hand gesture recognition with 3d convolutional neural networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, pp. 1–7, 2015.
- [11] K. Takahashi, "Hand gesture recognition using mediapipe." GitHub, 2021. [Online]. Disponível: <https://github.com/Kazuhito00/hand-gesture-recognition-using-mediapipe>. Acessado em: 10 mar. 2025.
- [12] R. V. F. d. e. a. SOUZA, "Drone-based object tracking with convolutional neural networks," in *Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*, (Diamantina(MG) Online), 2024. Acesso em: 10/03/2025.
- [13] Z. Drones, "Hand gesture control with tello drone," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=d0Iza5IF7jE>. Acessado em: 12 mar. 2025.

APLICAÇÃO DE VISÃO COMPUTACIONAL E DEEP LEARNING NA DETECÇÃO PRECOCE DE DOENÇAS EM MELÃO

Matheus de Oliveira Dias
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica - PPGEE
Mossoró/RN, Brasil
matheus.dias@alunos.ufrsa.edu.br

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica - PPGEE
Mossoró/RN, Brasil
idalmir@ufrsa.edu.br

Glauber Henrique de Sousa Nunes
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFRSA
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia - PPGFITO
Mossoró/RN, Brasil
glauber@ufrsa.edu.br

Abstract— A detecção precoce de doenças em plantas é essencial para a produtividade agrícola e a redução de perdas na plantação. Este estudo propõe a utilização de visão computacional e aprendizado profundo para identificar automaticamente doenças em folhas de melão. O modelo YOLO (*You Only Look Once*) é empregado devido à sua eficiência na detecção de objetos em tempo real. O conjunto de dados utilizado inclui imagens de folhas saudáveis e doentes, permitindo o treinamento de um modelo capaz de classificar e localizar regiões afetadas com alta precisão. O pré-processamento das imagens envolve técnicas como redimensionamento, filtragem e segmentação baseada no algoritmo *K-means*, garantindo uma melhor extração de características. Para aprimorar o desempenho da rede neural convolucional, são aplicadas estratégias de otimização, como poda de canais e *fine-tuning*, reduzindo a complexidade do modelo sem comprometer sua precisão. Além disso, a avaliação do modelo é realizada por meio de métricas como precisão, lembrança, *mean Average Precision (mAP)* e tempo de inferência, garantindo um equilíbrio entre eficiência e desempenho. A aplicação dessa tecnologia pode auxiliar agricultores na identificação rápida e precisa de doenças, permitindo intervenções mais eficazes e minimizando o uso excessivo de defensivos agrícolas. Conclui-se que a combinação de redes neurais convolucionais com técnicas de otimização representa um avanço significativo para a agricultura de precisão. Pesquisas futuras podem explorar a adaptação do modelo para diferentes culturas e condições ambientais, bem como sua integração com drones e sensores *IoT* para monitoramento contínuo das culturas.

Keywords—Visão Computacional, YOLO, Detecção de Doenças, Redes Neurais Convolucionais, Processamento de Imagens

I. INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor e exportador agrícola no mundo. Com sua vasta dimensão territorial e diferentes climas, há grande diversidade de culturas agrícolas por todo o país, sendo que diferentes regiões se adequam melhor a determinados cultivos [1]. Uma cultura que vem crescendo nos últimos anos é a produção de melão. Em 2023, o Brasil produziu aproximadamente 862.387 toneladas desse fruto [2]. A região Nordeste concentra cerca de 96% da produção nacional, com o Rio Grande do Norte sendo o maior produtor, responsável por 65% dessa produção e arrecadando cerca de R\$ 823.025.000 [3]. A concentração da produção de melão na região noroeste do estado se deve às condições climáticas favoráveis, como o clima semiárido, que favorece frutos com

maior teor de açúcar, mais sabor e maior consistência, tornando-os ideais para comercialização [4].

No entanto, várias doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus podem afetar essa cultura. Se não forem tratadas adequadamente e de forma rápida, essas enfermidades podem reduzir tanto a produtividade quanto a qualidade dos frutos, resultando em grandes perdas para os agricultores [5]. Portanto, diagnosticar doenças no melão de maneira eficaz é essencial para implementar estratégias de controle apropriadas [6].

Neste contexto, a aplicação de técnicas de visão computacional pode agilizar o processo de detecção de doenças no melão e evitar tais problemas, considerando que, atualmente, a identificação ainda é feita por observação humana. Essa abordagem propõe a utilização do modelo chamado YOLO (*You Only Look Once*), um modelo de aprendizado profundo eficiente para detecção de objetos em tempo real [7]. A implementação da YOLO permite a análise automatizada de imagens para encontrar de maneira mais rápida plantas doentes em meio a grandes plantações. Com isso, torna-se possível identificar precocemente o nível de infestação nas plantas, possibilitando a tomada de medidas preventivas antes que as doenças se espalhem [8].

Este artigo explora a aplicação da biblioteca YOLO em Python para identificar doenças nas folhas do melão, discutindo suas vantagens, desafios e perspectivas futuras para aprimorar a agricultura de precisão.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Visão Computacional

A visão computacional é um campo da inteligência artificial que usa aprendizado de máquina e redes neurais para ensinar computadores e sistemas a extrair informações significativas de imagens digitais, vídeos e outras entradas visuais e para fazer recomendações ou tomar medidas quando defeitos ou problemas são identificados [9].

Para permitir que as máquinas vejam, analisem e compreendam o que estão observando, são utilizados algoritmos de visão computacional e aprendizado de máquina, que processam imagens e extraem informações relevantes para tomada de decisões em diferentes aplicações. A visão computacional funciona de maneira semelhante à visão humana, mas os humanos se beneficia de anos de experiência e contexto, o que nos ajuda a identificar objetos, avaliar distâncias, detectar movimentos ou perceber se algo está errado em uma imagem [10]. Por outro lado, treina máquinas

para realizar essas tarefas de forma mais rápida, utilizando câmeras, dados e algoritmos, em vez de retinas, nervos ópticos e o córtex visual. Um sistema treinado para inspecionar produtos ou monitorar um processo produtivo pode analisar milhares de itens ou operações por minuto, identificando defeitos ou problemas que muitas vezes passam despercebidos pelos humanos, superando rapidamente nossas capacidades [11].

B. Deep Learning

O *deep learning* é um subconjunto do aprendizado de máquina que usa redes neurais de várias camadas, chamadas de redes neurais profundas, para simular o complexo poder de tomada de decisão do cérebro humano. Alguma forma de *deep learning* alimenta a maioria das aplicações de inteligência artificial (IA) [9].

A principal diferença entre *deep learning* e aprendizado de máquina está na arquitetura da rede neural utilizada. Os modelos tradicionais de aprendizado de máquina, conhecidos como "não profundos", utilizam redes neurais simples, com uma ou duas camadas computacionais. Já os modelos de *deep learning* empregam redes com três ou mais camadas, frequentemente chegando a centenas ou até milhares, para realizar o treinamento [12].

Enquanto os modelos de aprendizado supervisionado requerem dados de entrada estruturados e rotulados para gerar resultados precisos, os modelos de *deep learning* podem operar com aprendizado não supervisionado. Com essa abordagem, os modelos de *deep learning* conseguem identificar características, particularidades e relações a partir de dados brutos e não estruturados, sem a necessidade de rótulos definidos. Além disso, esses modelos têm a capacidade de avaliar e ajustar seus resultados para melhorar sua precisão de forma contínua [13].

C. Redes Neurais Convolucionais (CNN)

Um dos modelos de aprendizado são as *convolutional neural networks* (CNNs), traduzindo para o português, redes neurais convolucionais, sendo o principal modelo utilizado na visão computacional e na classificação de imagens, permitindo a detecção de padrões em fotos e vídeos para reconhecimento de objetos e rostos [7]. Compostas por camadas convolucionais, de agrupamento e totalmente conectadas, essas redes podem conter milhares de camadas para capturar padrões detalhados e estruturais [8]. Sua eficiência no processamento de imagens supera métodos tradicionais de extração de características, otimizando a troca de informações entre camadas, embora haja perda de dados nas camadas de agrupamento, mitigada pela redução da complexidade e do risco [6].

Entretanto, CNNs demandam alto poder computacional, exigindo múltiplas GPUs e recursos significativos para treinamento. Além disso, sua implementação e ajuste requerem especialistas altamente qualificados para alcançar um desempenho ideal [14]. Mas para contornar esses problemas existem algumas bibliotecas que facilitam no trabalho, como o caso da biblioteca YOLO no reconhecimento de imagens.

D. Biblioteca YOLO

O modelo chamado *You Only Look Once*, traduzindo para o português, Você Olha Apenas Uma Vez, ou mais conhecido apenas por YOLO, é um modelo de aprendizado profundo projetado para a detecção de objetos em tempo real.

Diferentemente de outros modelos de detecção que analisam imagens em múltiplas etapas, o YOLO processa a imagem inteira em uma única etapa, tornando a inferência mais rápida e eficiente [7].

Esse algoritmo de detecção de ponta a ponta aumentou significativamente a velocidade de detecção. A série YOLO evoluiu do YOLOv1 ao YOLOv5 à medida que novos métodos foram desenvolvidos. O YOLOv5 é o modelo do algoritmo que hoje melhor funciona e alcança excelentes resultados em diversos projetos de detecção de objetos em tempo real [8], assim apresentando as melhores características para o objetivo do trabalho, que precisa de analisar imagens de plantas capturadas em movimento.

O modelo YOLOv5 é composto por quatro partes: entrada, *backbone* (estrutura principal), *neck* (pescoço) e previsão. Para a parte de entrada, além do método de aumento de dados *Mosaic* introduzido no YOLOv4, são incorporadas computações de auto âncora e dimensionamento adaptativo de imagens, permitindo maior flexibilidade no tamanho das imagens de entrada e aumentando a robustez da rede [14]. Tendo como suas principais versões:

- YOLOv3: Popular por seu equilíbrio entre velocidade e precisão [7];
- YOLOv4: Melhor otimização para precisão em tempo real [8];
- YOLOv5: Implementação otimizada em *PyTorch* para fácil treinamento e ajuste fino [14].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para treinar um modelo YOLO para identificar doenças na folha, primeiro faz toda a coleta de dados:

- Coleta de imagens com uso de câmera RGB acoplada em drone, para sobrevoar a plantação de forma eficiente e rápida, capturando o maior número de imagens possíveis de folhas saudáveis e infectadas [6]. Assim essas imagens são divididas em duas categorias principais: imagens de folhas saudáveis e imagens de folhas doentes. O principal objetivo desse processo é armazenar as imagens de forma estruturada para análise. Todas as imagens utilizadas no conjunto de dados devem estar no formato JPEG [17];
- O pré-processamento é uma etapa fundamental para executar tarefas como recorte, filtragem, redimensionamento de imagens, realce de bordas e operações morfológicas. Nesse contexto, o principal objetivo do pré-processamento é ajustar o tamanho das imagens das folhas de melão, visto que, inicialmente, essas imagens possuem alta resolução, o que pode aumentar significativamente o tempo de processamento. Além disso, ruídos presentes nas imagens podem comprometer a segmentação e a extração de características, sendo necessário removê-los por meio de técnicas de filtragem apropriadas. Durante essa fase, também ocorre a conversão das imagens do formato RGB para valores binários [17].
- A segmentação é utilizada para dividir imagens digitais de folhas em objetos específicos ou áreas desejadas nas folhas das plantas. O principal objetivo desse processo é identificar e quantificar as regiões da imagem que apresentam indícios de doenças. A

segmentação é finalizada apenas quando o objeto de interesse no sistema é completamente isolado. Uma das técnicas empregadas nesse processo é a segmentação por agrupamento *K-means*, que permite dividir as imagens em diferentes grupos, separando as áreas afetadas. Com esse método, a parte desejada da imagem é preservada, enquanto as regiões irrelevantes são removidas [17].

- Rotulagem e classificação das imagens utilizando filtros que melhor se adequa para marcar regiões afetadas [14]. Fazendo extração das características da imagem que auxiliam no processo de classificação com precisão. Elementos como cor, textura, correlação e homogeneidade são algumas das características

utilizadas na análise. Esse procedimento é essencial para acelerar tarefas como correspondência e recuperação de imagens. Diversos métodos são empregados para a classificação de imagens, incluindo diferentes estratégias de análise de componentes principais. Para a operação de classificação, é utilizada a rede neural recorrente empilhada (*Stacked RNN*), que categoriza as imagens processadas em duas condições: folhas saudáveis e não saudáveis. Assim no caso das folhas não saudáveis, a área afetada pela doença é identificada e extraída [17].

- Divisão do *dataset*, fazendo a separação em conjuntos de treinamento, validação e teste [5].

A. Modelo do Filtro PYSS

Modelos de redes neurais convolucionais mais complexos e maiores podem proporcionar melhores resultados em detecção, mas são difíceis de serem implementados em hardware com recursos limitados. Portanto, é necessário diminuir o número de parâmetros e o uso de recursos computacionais, sem comprometer o desempenho do modelo.

Para isso, utiliza-se a otimização dos pesos dos canais. Isso permite manter camadas importantes para a extração de características, ajustando a taxa de espaçamento. Além disso, um ajuste fino é realizado para compensar a perda de precisão causada pela compressão do modelo [15]. Como mostra a Figura 1.

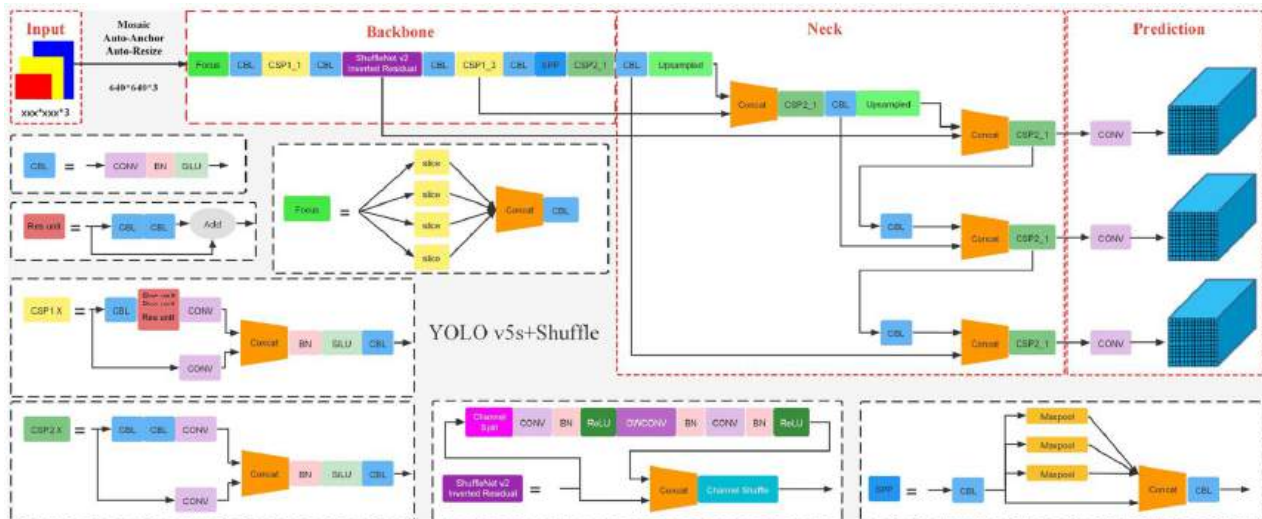


Fig. 1. Estrutura do YOLO v5s+Shuffle [16].

Para a detecção em tempo real de doenças nas folhas de melão será utilizado o modelo de filtro para esse reconhecimento de imagens é o chamado *Python Screen Shots* (PYSS), que é o refinamento com melhoras para a função proposta neste artigo [16]. Após receber todos os dados, para a melhora do modelo é feito o treinamento, a poda e o refinamento. Esses três processos de treinamento da melhora do modelo serão repetidos várias vezes para obter o modelo podado com menor perda de precisão. Além disso, o desenvolvimento do modelo inclui a validação e depuração do modelo no servidor e no *Jetson Nano* [16].

No modelo PYSS, é empregada uma método para alcançar a espaçamento na camada de Normalização de Batch (BN) incorporando uma restrição de regularidade *L1* no fator de escala γ do método de detecção YOLO v5+Shuffle [16]. Essa adição modifica a função de perda ao introduzir γ como um fator de escala em cada canal. Assim a função de perda geral

utilizada no algoritmo de poda de canais consiste em dois componentes principais:

$$Loss = \sum l(f(x, W), y) + \lambda \sum g(\gamma) \quad (1)$$

A perda de treinamento padrão relacionada à rede, representada como W (os pesos treináveis), e um segundo termo restringido por um coeficiente equilibrado λ . A função $g()$ atua como uma penalidade para abordar o coeficiente de razão resultante do processo de poda, definido como $g(s) = |s|$, com os valores de γ tipicamente escolhidos na faixa de 10^{-1} a 10^{-5} . A camada BN depende de estatísticas de mini partes para normalizar as ativações internas, designando z_{in} e z_{out} como a entrada e a saída da camada BN, respectivamente, enquanto B denota o mini partes atual.

$$\hat{Z} = \frac{z_{in} - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}} \quad (2)$$

$$z_{out} = \gamma \hat{Z} + \beta \quad (3)$$

A média μ_B e o desvio padrão σ_B da entrada para a função de ativação são críticos para esse processo. Os parâmetros γ e β são parâmetros de transformação afim treináveis que permitem que as ativações normalizadas sejam escaladas e deslocadas de acordo. Além disso, um pequeno valor de ϵ , definido como o tamanho do canal, contribui para minimizar a ativação de saída z_{out} , levando, em última análise, a um modelo mais leve [16].

Após o treinamento esparsos, muitos canais do modelo apresentam fatores de escala próximos de zero. Esses canais são eliminados removendo os pesos correspondentes em todas as suas conexões de entrada e saída, tornando o modelo de detecção de objetos mais leve. No entanto, essa poda da rede neural convolucional pode reduzir a precisão da detecção.

Para minimizar essa perda de precisão, aplica-se uma etapa de refinamento (*fine-tuning*), na qual o modelo é treinado novamente e monitorado para avaliar mudanças no *mAP* (*mean Average Precision*) e no histograma γ . O objetivo é encontrar o valor ideal de λ , que equilibra a taxa de poda e a precisão do modelo. Dessa forma, busca-se maximizar a eficiência computacional, reduzindo o tamanho e aumentando a velocidade do modelo sem comprometer significativamente a qualidade da detecção [16].

Para demonstrar de forma eficaz o desempenho do modelo PYSS, sua performance é avaliada por meio de métricas como Precisão, Lembrança, *mAP@0.5* (*IoU* = 0.5), *F1-score* e Velocidade de Inferência. Com métricas definidas da seguinte forma:

$$\text{Precisão} = \frac{TP}{TP+FP} * 100\% \quad (4)$$

$$\text{Lembrança} = \frac{TP}{TP+FN} * 100\% \quad (5)$$

$$F1 = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} * 100\% \quad (6)$$

$$mAP = \frac{1}{nc} \sum_{nc}^{nc=1} AP(nc) \quad (7)$$

$$IoU = \frac{area(C) \cap area(G)}{area(C) \cup area(G)} \quad (8)$$

Onde os verdadeiros positivos (*TP*), falsos positivos (*FP*) e falsos negativos (*FN*) representam, respectivamente, amostras positivas classificadas corretamente, amostras negativas classificadas incorretamente e amostras positivas classificadas incorretamente. A Precisão Média (*AP*) corresponde à área sob a curva Precisão-Lembrança, medindo o grau de sobreposição entre a área de fronteira prevista (*areaC*) e a área de fronteira real do objeto (*areaG*). A Média da Precisão Média (*mAP*) é obtida calculando o valor de *AP* para cada classe e dividindo pelo número total de classes (*nc*)

[16]. Neste artigo será considerado as mesmas condições, com o *mAP* foi calculado considerando valores de *IoU* entre 0.5 e 0.95, divididos em 10 intervalos. A média desses dez valores resulta no *mAP@0.5*: 0.95, enquanto o primeiro intervalo é utilizado para o *mAP@0.5* [16].

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Com a implementação do modelo YOLO para detecção de doenças em folhas de melão, espera-se alcançar melhorias significativas na identificação automática de plantas afetadas, reduzindo a necessidade de inspeção manual e aumentando a eficiência do diagnóstico agrícola. São esperados obter uma alta taxa de precisão média (*mean Average Precision* - *mAP*), principalmente no intervalo *mAP@0.5*: 0.95, garantindo que o modelo identifique corretamente folhas saudáveis e doentes, assim contribuirá para um manejo mais eficiente da cultura, reduzindo perdas, otimizando o uso de defensivos agrícolas e melhorando a produtividade.

Estudos anteriores demonstram que modelos da série YOLOv5 apresentam alta eficiência na detecção de objetos em tempo real, sendo amplamente utilizados para aplicações agrícolas. Girshick, et al [7] destacam que as versões aprimoradas do YOLO aumentaram significativamente a precisão e a velocidade de inferência em comparação com abordagens tradicionais. Além disso, Bochkovskiy [8] introduziram técnicas de aumento de dados e otimização que melhoram a robustez do modelo para diferentes condições ambientais.

Nesses estudos, como os feitos por Kong, et al [16], foram avaliados os modelos YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l e YOLOv5s6, utilizando *transfer learning* para ajustar os pesos previamente treinados. O conjunto de dados CMD foi utilizado para o treinamento, realizado ao longo de 300 épocas com parâmetros específicos ajustados. Estudos anteriores sugerem que a escolha adequada dos melhores parâmetros que pode impactar diretamente no desempenho do modelo, conforme demonstrado por Mohanty [6], que utilizaram aprendizado profundo para a detecção de doenças em plantas e observaram melhorias significativas melhoras ao ajustar parâmetros específicos.

As imagens de entrada foram processadas em dois tamanhos distintos, 640×640 e 1280×1280 pixels, para avaliar o impacto da resolução na detecção. Jocher [14] aponta que o uso de imagens maiores pode aumentar a precisão do modelo, porém, também exige maior capacidade computacional. Após o treinamento, os arquivos de resultados e os pesos dos modelos foram armazenados para posterior análise. A Figura 2 apresenta a comparação de desempenho entre os modelos da série YOLOv5 [16].

Model	Precision/%	Recall/%	mAP@0.5/%	Speed/ms	F1/%
Retina Net-ResNet50-FPN	71.6	69.7	61.1	847	70.1
YOLO v3-DarkNet	69.6	75.4	69.8	803	72.4
Faster R-CNN-ResNet50-FPN	83.4	78.1	72.9	609	80.7
Cascade R-CNN-ResNet50-FPN	80.2	84.9	77.5	434	82.4
YOLO v4	82.5	79.4	88.2	206	80.9
YOLO v5s	84.5	82.9	90.3	4	90.0
PYSS	89.9	91.8	95.7	3.7	90.9

Fig. 2. Tabela de resultados dos testes das versões do YOLO [16].

Usando como parâmetro o modelo de escolha no estudo de Kong, et al [16]. O melhor desempenho em precisão foi

alcançando $mAP@0.5$ de 89,0%. No entanto, seu tamanho de 97,4 MB limita sua flexibilidade para implantação em dispositivos de menor capacidade. Considerando esse fator, foi escolhido o YOLOv5s com tamanho de entrada de 640×640 pixels, que apresentou $mAP@0.5$ de 85,9%, tempo de inferência de 4,7 ms e um tamanho de modelo reduzido de 14,7 MB. Essa escolha foi baseada no equilíbrio entre precisão, velocidade e eficiência computacional, permitindo melhor adaptação a ambientes de hardware restrito [16].

V. CONCLUSÃO

A implementação de redes neurais convolucionais (CNNs), especificamente o modelo YOLO, para a detecção automática de doenças em folhas de melão demonstrou ser uma abordagem promissora para a agricultura de precisão. Através da utilização de técnicas avançadas de processamento de imagens e aprendizado profundo, espera-se obter um sistema eficiente, capaz de identificar doenças com alta precisão e velocidade de inferência.

Os resultados esperados indicam que a aplicação do YOLO pode proporcionar uma identificação mais rápida e precisa das doenças foliares, reduzindo a necessidade de inspeção manual e auxiliando os agricultores na tomada de decisões mais assertivas sobre o manejo da cultura. Isso não apenas otimiza o uso de defensivos agrícolas, como também minimiza perdas e melhora a produtividade.

Por fim, o uso da visão computacional na detecção de doenças agrícolas reforça o potencial da inteligência artificial no setor, tornando os processos agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Pesquisas futuras podem explorar melhorias na adaptação do modelo a diferentes culturas, condições ambientais e integração com sistemas autônomos para monitoramento em tempo real.

REFERÊNCIAS

- [1] F. M. Silva, "Agricultura Brasileira: Produção, Exportação e Desafios," Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, vol. 11, no. 3, pp. 98-112, 2021.
- [2] IBGE, "Produção Agrícola Municipal," 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.
- [3] CONAB, "Monitoramento da Produção Agrícola," 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.
- [4] J. R. Lima, "Cultivo do Melão no Semiárido Brasileiro," Revista Agropecuária do Nordeste, vol. 5, no. 2, pp. 45-59, 2020.
- [5] J. G. A. Barbedo, "Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 153, pp. 46-53, 2018.
- [6] S. P. Mohanty, D. P. Hughes, e M. Salathé, "Using deep learning for image-based plant disease detection," Frontiers in Plant Science, vol. 7, p. 1419, 2016.
- [7] R. Girshick, J. Redmon, S. Divvala, e A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2015.
- [8] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, e H.-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," arXiv preprint, arXiv: 2004.10934, 2020.
- [9] I. Goodfellow, Y. Bengio, e A. Courville, Deep Learning. Cambridge, MA: MIT Press, 2016.
- [10] R. Szeliski, Computer Vision: Algorithms and Applications, 2nd ed. Springer, 2022.
- [11] S. Russell e P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed. Pearson, 2021.
- [12] C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006.
- [13] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," Nature, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, May 2015.
- [14] G. Jocher, "YOLOv5 by Ultralytics," Disponível em: <https://github.com/ultralytics/yolov5>, 2021.
- [15] Z. Liu, J. Li, Z. Shen, G. Huang, S. Yan, e C. Zhang, "Learning efficient convolutional networks through network slimming," in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 2755-2763.
- [16] S. Kong, L. Xing, Q. Wang, X. Cong, Y. Zhou, "Object detection model based on YOLO v5 and ShuffleNet v2 for plant leaf diseases," Journal of Real-Time Image Processing, vol. 19, no. 4, pp. 985-995, 2022. DOI: 10.1007/s11554-022-01239-7.
- [17] J. Jayakumar, "Plant Disease Detection in Melon Leaves Using Stacked RNN," 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9262414>.

Análise Computacional da Taxa de Absorção Específica (SAR) em Antenas Flexíveis para Dispositivos *Wearable* em Tecnologias WBAN.

Elison Wediley dos Reis Silva
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
elison.silva@alunos.ufersa.edu.br

Pedro Arthur Freitas da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
pedro.silva67350@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Nickson Saymon de Oliveira Lopes
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Mossoró, Brasil
nicksonsaymon@gmail.com

Caiky Breno Santiago Chaves
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
caiky.chaves@alunos.ufersa.edu.br

Emerson Nunes dos Santos
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Mossoró, Brasil
emerson.nnds@gmail.com

Resumo— A utilização de sensores de monitoramento de saúde com redes de comunicação sem fio vem sendo amplamente empregados em âmbito médico e militar. Com o advento de dispositivos *wearable* utilizando tecnologia WBAN, tornou-se possível realizar o monitoramento em tempo real dos parâmetros de saúde do usuário. Contudo, com a disseminação dessa tecnologia, surgem preocupações sobre a segurança da exposição do corpo humano a campos eletromagnéticos gerados por esses dispositivos, sendo necessário a avaliação da taxa de absorção específica (SAR), com a intenção de garantir que os níveis de radiação estejam dentro dos limites seguros estabelecidos por órgãos reguladores. Este trabalho tem como objetivo realizar a verificação do SAR através do uso de ferramenta computacional para analisar a taxa de absorção específica gerada por uma antena flexível operando em WBAN com largura de banda ISM, além de avaliar os impactos no desempenho da antena devido à sua aplicação em dispositivos *wearable*.

Palavras-Chave— WBAN; Dispositivos Wearable; Taxa de Absorção Específica (SAR); Antena Flexível; Sensores de Monitoramento.

Abstract—The use of health monitoring sensors with wireless communication networks has been widely employed in medical and military fields. With the advent of wearable devices utilizing WBAN technology, it has become possible to perform real-time monitoring of users' health parameters. However, the spread of this technology, raises concerns about the safety of human body exposure to electromagnetic fields generated by these devices, making it necessary to evaluate the Specific Absorption Rate (SAR) to ensure that radiation levels are within the safe limits established by regulatory bodies. This study aims to verify the SAR using computational tools to analyze the specific absorption rate generated by a flexible antenna operating in WBAN with an ISM bandwidth, as well as to assess the impacts on antenna performance due to its application in wearable devices.

Keywords— WBAN; Wearable Devices; Specific Absorption Rate (SAR); Flexible Antenna; Monitoring Sensors.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento da aplicação de sensores de monitoramento vestíveis implantados, sobre a pele ou roupa, vem tomando importância em diversas áreas, como engenharia biomédica e

em âmbito militar. Esta tecnologia, conhecida como dispositivos *wearable*, busca utilizar de antenas flexíveis como uma saída para garantir sua aplicabilidade, conforto e não prejudicar a mobilidade do usuário, desta forma será necessário a confecção de antenas compostas por matérias têxteis e flexíveis como forma de garantir sua aplicabilidade [1][2].

A utilização crescente de dispositivos *wearable* proporciona o desenvolvimento das tecnologias WBAN (*Wireless Body Area Network*), que por meio de comunicação em rádio frequência é capaz de reunir e compilar informações de sensores e atuadores dispostos pelo corpo do usuário, desta forma é possível realizar o monitoramento dos parâmetros de saúde em tempo real pelo profissional de saúde responsável utilizando de redes *Wi-Fi* para a comunicação a longas distâncias [3].

Entretanto visto a disseminação da tecnologia WBAN para dispositivos vestíveis se torna imprescindível o estudo sobre os efeitos causados por sua utilização. Estudos realizados pela ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) e IEEE indicam que o único fator de interferência na saúde do usuário é representado pela energia absorvida pelo corpo em decorrência do campo eletromagnético gerado pelo dispositivo, para tal foi criado o conceito de SAR, que visa padronizar os estudos desta energia absorvida e definir níveis seguros de exposição [4][5].

O objetivo desta pesquisa é realizar a simulação e análise computacional do espectro de SAR em aplicação WBAN de uma antena de microfitas de *patch* retangular, operando na frequência de 2,45GHz utilizando uma largura de banda ISM (*Industrial, Scientific & Medical*), bem como identificar as possíveis variações nos coeficientes de reflexão e no ganho total pelo efeito da proximidade entre a antena e o corpo. Sendo capaz por meio dos resultados obtidos, analisar o espectro de SAR em relação aos limites de segurança estabelecidos pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) [6].

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Tecnologia WBAN

O padrão IEEE Std 802.15.6 define tecnologias WBAN como comunicação sem fio de curto alcance aplicada próxima ou dentro do corpo. Sua aplicação utiliza banda industrial científica e médica (ISM) que possui uma largura de 83,5 MHz e abrange uma variação entre 2,4 GHz e 2,4835 GHz de operação [7].

Conforme ilustra a Figura 1, tecnologias WBAN em dispositivos *wearable* são capazes de garantir o monitoramento em tempo real da saúde do usuário, contudo será necessário a utilização de um gateway que possibilite a transmissão desses dados para hospitais, familiares médicos e especialistas [8].



Fig. 1. Estrutura de uma rede de comunicação sem WBAN. Fonte: MESQUITA 2021.

B. Antenas de microfita de patch retangular

Para garantir a aplicação de comunicação sem fio de formar eficaz em um contexto de miniaturização dos dispositivos é necessário a utilização de antenas que possam cumprir os requisitos necessários, para tal as antenas de microfita se tornam uma escolha ideal visto a seu tamanho, eficiência e baixo consumo energético [9].

Antenas de microfita são constituídas por um elemento condutor irradiante conhecido como patch, aplicado sobre um substrato composto de um material dielétrico sobre um plano terra condutor. Os parâmetros construtivos de uma antena de microfita afetam diretamente sua frequência de operação. A Figura 2 ilustra os componentes que constituem uma antena de microfita de patch retangular.

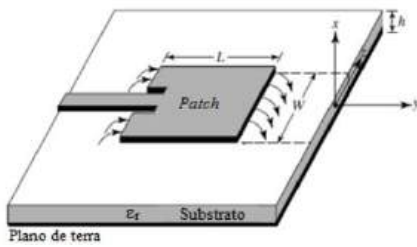


Fig. 2. Estrutura de antena de microfita retangular. Fonte: Adaptado de BALANIS, 2009.

Para assegurar o casamento de impedância ideal, buscando uma aproximação de 50Ω, emprega-se a técnica chamada *inset feed*, que consiste na inserção de fendas no patch conforme ilustra a Figura 3.

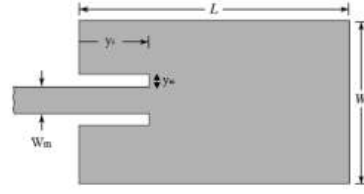


Fig. 3. Geometria do *inset feed*. Fonte: Adaptado de BALANIS, 2009.

III. METODOLOGIA

A. Cálculo dos parâmetros da antena

Utilizando o método de linha de transmissão, que leva em consideração os efeitos de borda causados pelas dimensões finitas do patch que geram um efeito de franjamento ao longo do comprimento e largura do patch, é necessário o cálculo de um modelo de permissividade efetiva (ϵ_{ref}) de forma que a linha de transmissão da antena possua características elétricas semelhantes à de uma antena ideal, para o este cálculo utilizamos a Equação (1), onde ϵ_r é a permissividade do substrato, h é a altura do substrato e W é a largura do patch.

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Em decorrência do efeito de franjamento pode ocorrer a variação do comprimento da antena (ΔL), para isto é necessário a utilização da Equação (2) para o cálculo desta variação.

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2)$$

Desta forma, o comprimento da antena (L) em função de sua variação pode ser calculado pela Equação (3), assim como a Equação (4) mostra como calcular a largura da antena (W) de microfita utilizando dos parâmetros calculados anteriormente e a frequência de ressonância (f_r) desejada.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} - 2\Delta L \quad (3)$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4)$$

Para o cálculo do comprimento (L_m) e largura (W_m) da linha de transmissão será utilizado as Equações (5) e (6) respectivamente. Para a obtenção da largura da linha se fez necessário a utilização de softwares de resolução de cálculo numérico para a aplicação do método da bisseção.

$$L_m = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (5)$$

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r} \left[\frac{W_m}{h} + 1,393 + 0,677 \ln \left(\frac{W_m}{h} + 1,44 \right) \right]}, & \frac{W_m}{h} > 1 \\ \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left(\frac{8h}{W_m} + \frac{W_m}{4h} \right), & \frac{W_m}{h} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

Para garantir o valor esperado de impedância será necessário a utilização do *inset feed*, cujo parâmetros podem

ser obtidos pelas Equações (7) e (8). Entretanto é importante ressaltar que o comprimento (y_0) e largura (y_m) poderão ser obtidas de forma empírica visando um ideal casamento de impedância para a antena.

$$y_0 = 10^{-4}(0,001699\epsilon_r^7 + 0,13761\epsilon_r^6 - 6,1783\epsilon_r^5 + 93,187\epsilon_r^4 - 682,69\epsilon_r^3 + 2561,9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697)\frac{L}{2} \quad (7)$$

$$y_m = \frac{c}{\sqrt{2\epsilon_{ref}}} \frac{4,56 \times 10^{-12}}{f_r} \quad (8)$$

Devido a curvatura da antena e necessidade de sua faixa de operação na banda ISM foi utilizado a ferramenta *opmetrics* presente no software *ANSYS HFSS (High Frequency Structure Simulator)*, que permite a variação dos parâmetros construtivos da antena visando seu melhor desempenho para a aplicação preestabelecida, a Figura 4 ilustra a geometria do patch utilizado para o estudo.

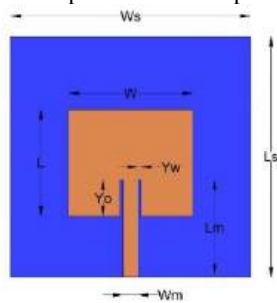


Fig. 4. Estrutura de antena estudada. Fonte: Autoria própria.

B. Modelagem dos componentes

O software utilizado para a modelagem e simulação do objeto de estudo deste trabalho foi *ANSYS HFSS (High Frequency Simulation Software) Release 19.0*. A modelagem da antena foi realizada inicialmente de forma plana e posteriormente aplicado uma curvatura correspondente a um cilindro de 100 mm de diâmetro, simulando uma curvatura gerado por sua utilização em dispositivos *wearable*, conforme ilustrado na Figura 5. Seu substrato é composto 100% de poliéster, com uma permissividade relativa é igual a 1,9. A escolha deste material foi realizada para garantir a flexibilidade da antena e facilitar sua confecção, visto a disponibilidade deste material no mercado. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para a modelagem da antena.

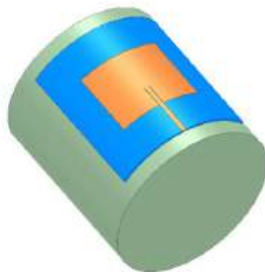


Fig. 5. Curvatura de antena sobre cilindro. Fonte: Autoria própria.

TABELA I. PARÂMETROS CONSTRUTIVOS DA ANTENA.

PARÂMETROS	VALOR (mm)
Ws	87,67
Ls	87,67
W	51,68
L	42,51
Wm	2,62
Lm	38,88
Yw	3,3
Yo	14,3
Altura do substrato	1,55

Para a modelagem dos *phantoms* (modelos 3D de simulação de membros humanos), foi utilizado o modelo disponibilizado pela biblioteca de componentes do *HFSS*. A Figura 6 apresenta o modelo de simulação de um corpo humano adulto, no qual será realizado o estudo de SAR tendo foco na análise separada de seus membros.



Fig. 6. Phantom corpo humano adulto. Fonte: Autoria própria.

C. Simulação

Finalizado o processo de modelagem dos componentes, foi realizado o posicionamento da antena a uma distância de 10mm dos modelos de membros do *phantom*, distância utilizada para simular sua aplicação em dispositivos *wearable*. Para este estudo foram utilizados os seguintes modelos: braço, perna, mão e pé. A Figura 7 ilustra a disposição da antena nas diferentes regiões do corpo.

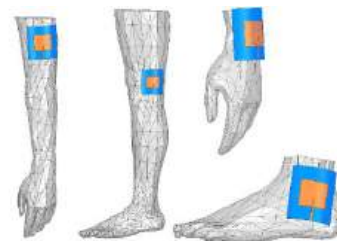


Fig. 7. Disposição de antena sobre membros. Fonte: Autoria própria.

Para realizar a simulação, foi retirado o cilindro anteriormente utilizado para curvar a antena, visto que o mesmo tem seu propósito exclusivo para a modelagem. A disposição da antena tem como objetivo simular regiões do corpo onde seriam utilizados dispositivos *wearable* com rede *WBAN*. Para o processo de simulação, realizado computacionalmente, foi utilizado o método de interpolação de objetos finitos onde cada nó presente nos modelos de

análise é influência no valor final em qualquer ponto do elemento.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 8 e Tabela 2 apresentam os resultados obtidos da simulação computacional para a frequência de 2,45GHz referentes ao coeficiente de reflexão obtido com a antena isolada e sua aplicação para cada membro proposto.

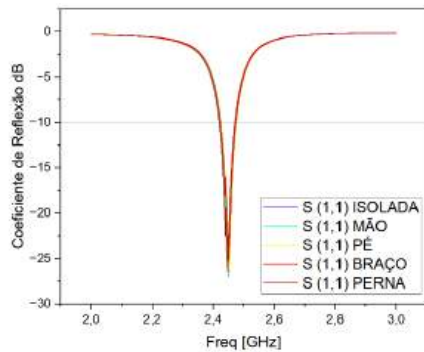


Fig. 8. Gráfico de coeficiente de reflexão. Fonte: Autoria própria.

TABELA II. COEFICIENTES DE REFLEXÃO E LARGURAS DE BANDA.

Estado	S(1,1) [dB]	Frequência		BW [MHz]
Isolada	-26,940	2,427	2,473	46,0
Mão	-26,753	2,425	2,473	48,0
Pé	-26,35	2,427	2,473	46,0
Braço	-25,017	2,427	2,473	46,0
Perna	-23,077	2,423	2,47	47,0

É possível observar que, apesar das aplicações da antena sobre os modelos de *phantom*, sua frequência de ressonância, assim como seu coeficiente de reflexão, apresentou resultados satisfatórios em relação a antena isolada, e sua largura de banda permaneceu na faixa de frequência de operação ISM. Ademais, seus coeficientes de reflexão apresentaram -10 dB, apontando a reflexão de menos de 10% da potência de entrada, garantindo sua aplicabilidade nas tecnologias embarcadas.

As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 apresentam os valores de ganho total em duas e três dimensões para a antena aplicada isoladamente e sobre os *phantoms*.

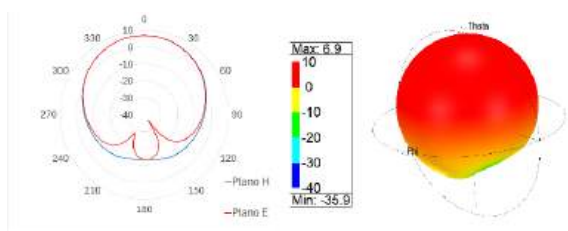


Fig. 9. Ganho total antena isolada. Fonte: Autoria própria.

O gráfico presente na Figura 9 representa o ganho da antena em um ambiente isolado, livre de interferências dos modelos de *phantom*. As projeções 2D e 3D revelam um padrão de otimizado para os planos E e H.

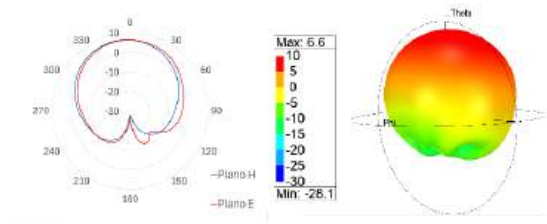


Fig. 10. Ganho total antena sobre mão. Fonte: Autoria própria.

A proximidade com a mão humana demonstra uma alteração no padrão de radiação. Observa-se uma distorção na simetria, com áreas de menor ganho devido à absorção e reflexão das ondas eletromagnéticas pela superfície da pele

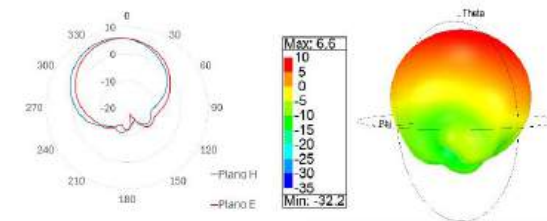


Fig. 11. Ganho total antena sobre pé. Fonte: Autoria própria.

Quando posicionada sobre o pé, o gráfico revela uma redução no ganho nas direções E e H, afetando a dispersão de radiação nessas direções.

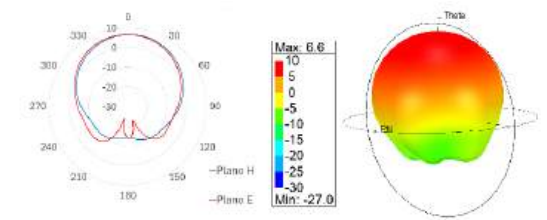


Fig. 12. Ganho total antena sobre braço. Fonte: Autoria própria.

O impacto do braço humano no ganho da antena é evidenciado por um desvio no padrão de radiação, com zonas de menor eficiência, devido a área de interação com a superfície da pele.

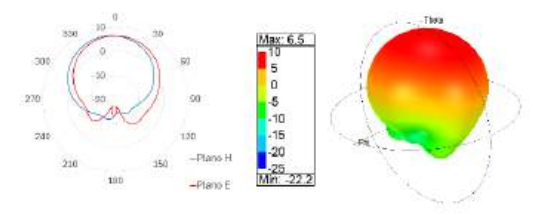


Fig. 13. Ganho total antena sobre perna. Fonte: Autoria própria.

Similar ao braço, a presença da perna modifica o comportamento da radiação. O gráfico apresenta uma diminuição no ganho em regiões específicas, influenciada pelas características anatômicas e pelo volume do membro.

Pode-se notar que o ganho máximo da antena isolada é de 6,9 dB enquanto o menor ganho máximo pela influência dos membros é de 6,5 dB. Considerando a pequena variação observada em relação as antenas instaladas sobre os membros,

pode-se concluir que os ganhos totais da antena não foram substancialmente alterados na aplicação proposta.

O propósito principal da análise dos resultados é a comparação do espectro de SAR obtido por meio da simulação computacional com as diretrizes de segurança estabelecidas pela ANATEL para o limite de exposição a campos eletromagnéticos. A Tabela 3 apresenta os limites de SAR local aplicáveis aos membros do corpo.

TABELA III. RESTRIÇÕES BÁSICAS PARA EXPOSIÇÃO AO CAMPO ELETROMAGNÉTICO DE 100 KHz A 300 GHz (ADAPTADA DE ICNIRP GUIDELINES).

Cenário de exposição	Faixa de frequência	Membro local SAR (W/kg-1)
Ocupacional	100 kHz a 6 GHz	20
Público em geral	100 kHz a 6 GHz	4

As Figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam os espectros de SAR obtidos para cada membro do corpo utilizando a antena proposta para aplicação para tecnologias *wearable* e WBAN, a uma distância de 10mm entre a antena e o *phantom*.

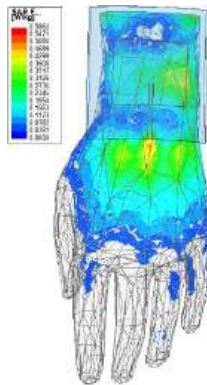


Fig. 14. Espectro de SAR da mão. Fonte: Autoria própria.

Para a Figura 14 que ilustra o espectro de SAR da mão, seu valor máximo registrado foi de 0,5862 W/kg, representando aproximadamente 2,93% para aplicação ocupacional e 14,66% do limite para o público em geral, apresentando uma menor concentração em razão da reduzida área de contato e da baixa concentração de tecido muscular na região.

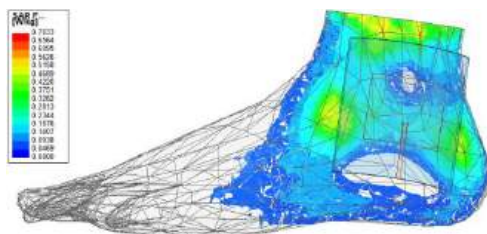


Fig. 15. Espectro de SAR do pé. Fonte: Autoria própria.

Conforme Figura 15, o SAR máximo apresentado para o pé foi de 0,7033 W/kg, correspondendo a 3,52% do limite

ocupacional e 17,58% do limite para o público em geral, registrando o segundo menor valor de SAR nas simulações, principalmente devido ao aglomerado de massa óssea presente na região, o que limita a absorção de energia.

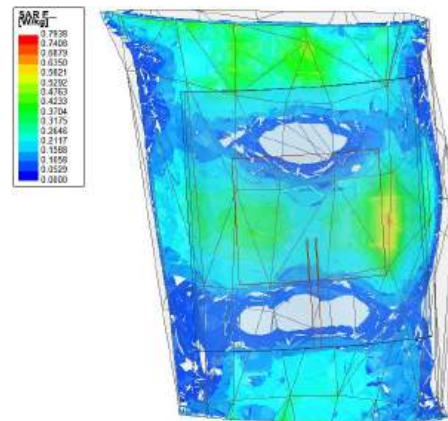


Fig. 16. Espectro de SAR do braço. Fonte: Autoria própria.

Como visto na Figura 16, o espectro de SAR máximo para o braço foi de 0,7938 W/kg, o que equivale a 3,97% do limite ocupacional e 19,84% do limite para o público em geral. Observa-se que o tecido muscular contribui para a absorção da energia proveniente do campo eletromagnético.

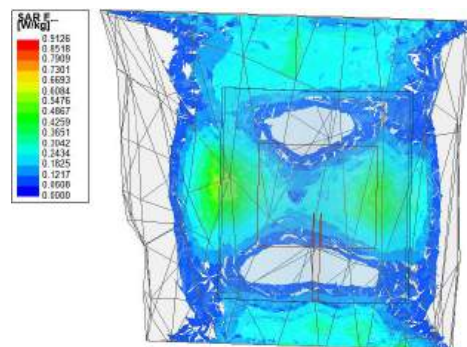


Fig. 17. Espectro de SAR da perna. Fonte: Autoria própria.

Para perna, o valor máximo de SAR atingiu 0,9126 W/kg, correspondendo a 4,56% do limite operacional e 22,82% do limite para o público em geral. Apresentando a maior taxa de absorção em comparação com os membros estudados, assim como visto para o braço isto se deve a sua alta concentração de tecido muscular, afetando sua permissividade específica e contribuindo para uma maior taxa de absorção específica.

Os resultados indicam que os níveis de SAR nos membros analisados estão dentro dos limites de segurança. O braço e a perna apresentaram valores mais elevados de SAR, atribuídos à maior concentração de tecido muscular, que, devido ao seu maior teor de água, favorece a absorção de energia. Por outro lado, a mão e o pé registraram valores menores, influenciados pela menor área de contato e maior presença de massa óssea, que limita a absorção. Esses dados reforçam a influência da composição tecidual na interação com campos eletromagnéticos.

V. CONCLUSÃO

A análise computacional da Taxa de Absorção Específica (SAR) em antenas flexíveis para dispositivos *wearable* em tecnologias WBAN mostrou que, apesar da proximidade com a pele, os parâmetros de desempenho da antena, como coeficiente de reflexão e ganho, permanecem dentro das faixas de operação ISM. Os níveis de SAR observados ficaram bem abaixo dos limites de segurança definidos pela ANATEL, indicando que o uso dessas antenas em dispositivos *wearable* é seguro. Assim, os resultados confirmam a viabilidade da aplicação dessas antenas em tecnologias WBAN, garantindo tanto o bom desempenho quanto a segurança do usuário.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem também, a CAPES, UFERSA, GEPEAT, ao capítulo Estudantil MTTS – UFERSA, ao ramo Estudantil IEEE UFERSA e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFERSA.

REFERÊNCIAS

- [1] EMANUEL, M. “Desenvolvimento de um biossensor na comunicação sem fio por meio do conceito e-têxtil e de protocolos da tecnologia wban na aplicação do monitoramento aos cuidados de paciente sob risco de lesões por pressão”. 2020. 157 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.
- [2] POTEY, P. M.; TUCKLEY, K. “Design of wearable textile antenna with various substrate and investigation on fabric selection. 2018”. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP), Dhanbad, India, 2018.
- [3] MUSTAFA, T.; VAROL, A. “Review of the Internet of Things for Healthcare Monitoring. 2020. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)”, Beirut, Lebanon, 2020.
- [4] IEC/IEEE. “Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Part 1528: Human models, instrumentation, and procedures (Frequency range of 4 MHz to 10 GHz)”. In: IEC/IEEE 62209-1528:2020, vol., no., pp. 1-284, 19 out. 2020.
- [5] ICNIRP. “Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)”. Health Physics, v. 118, n. 5, p. 483–524, maio 2020.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). “Resolução Normativa nº 915, de 23 de fevereiro de 2021. Regulamenta a Lei nº 11.934”, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e revoga as resoluções normativas nº 398/2010, nº 413/2010 e nº 616/2014. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021915.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- [7] IEEE. IEEE “Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 15.6: Wireless Body Area Networks (IEEE Std 802.15.6)”. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- [8] MESQUITA, S. “Estudo de Metamaterial Têxtil para Aplicação em Substrato de Antenas Planares para Tecnologia WBAN. 2021.” 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- [9] BALANIS, “Constantine A. Teoria de antenas: análise e síntese.” Vol. 1 e 2. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[1] EMANUEL, M. “Desenvolvimento de um biossensor na comunicação sem fio por meio do conceito e-têxtil e de protocolos da tecnologia

Estudo de Rádio Enlace entre os Campi UFRSA Mossoró e Caraúbas para Comunicação Sem Fio Utilizando Rede 2,4 e 5 GHz

Nickson Saymon de Oliveira Lopes
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
nicksonsaymon@gmail.com

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
idalmir@ufersa.edu.br

Gutemberg Soares da Silva
Departamento de Engenharia e Ciências
Universidade Federal do Rio Grande do
Norte
Natal, Brasil
guttembbergue@gmail.com

Mário Henrique de Medeiros Filho
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
mario.filho94364@alunos.ufersa.edu.br

Thiago de Carvalho Rêgo
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
thiago.rego@alunos.ufersa.edu.br

Fred Sizenando Rossiter Pinheiro
Departamento de Eng. de Comunicações
Universidade Federal do Rio Grande do
Norte
Natal, Brasil
fredrossiter@uol.com.br

Humberto Dionísio de Andrade
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Andre Pedro Fernandes Neto
Departamento de Eng. e Ciências
Ambientais
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, Brasil
andrepedro@ufersa.edu.br

Resumo—Rotineiramente, os Campi da UFRSA realizam troca de informações importantes e sensíveis, demandando meios de comunicação eficientes e ágeis. Os enlaces de rádio surgem como solução viável como meio de transmissão de dados por possuírem praticidade e aplicabilidade para casos onde se faz necessária a implementação célere e eficiente de um sistema de transmissão de informação. Fatores como complexidade no projeto, relevo, distância e clima são desafios para a realização do projeto de enlace de rádio. Utilizar ferramentas computacionais, como o software Radio Mobile® para projetos de enlace de rádio possibilitam obter um panorama prévio da execução do projeto. O presente trabalho expõe três propostas de projeto de enlace de rádio entre o campus Leste da UFRSA Mossoró e o campus UFRSA Caraúbas, utilizando o Radio Mobile® para projetar, simular e analisar a viabilidade de cada enlace diante dos desafios presentes para cada proposta. Na análise das simulações concluiu-se que o enlace realizado entre os campi, utilizando uma torre repetidora na Serra Mossoró apresentou melhor resultado quanto ao nível de sinal de recepção e na lógica de implementação e execução do projeto.

Palavras-chave: Rádio Enlace; Radio Mobile; Estação Rádio Base.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão de informação sofreram constante evolução conforme a necessidade e interesse da sociedade por adquirir ferramentas mais eficientes de comunicação a distância. Diversos setores da sociedade necessitam de sistemas eficientes e confiáveis de comunicação e transmissão de informações, como os próprios Campi da UFRSA, uma vez que é preciso realizar troca de informações administrativas, acadêmicas, econômicas etc.

A respeito dos sistemas de transmissão de dados e voz, a comunicação via rádio é um exemplo do reflexo do avanço das tecnologias de meios de transmissão. O enlace de rádio permite a transmissão de voz e dados pelo espaço livre por meio de ondas eletromagnéticas em determinada frequência

através de uma antena transmissora e outra receptora [1]. Tal tecnologia se apresenta como uma alternativa viável para estabelecer uma comunicação exclusiva entre os Campi da UFRSA.

Apesar da aplicabilidade, um projeto de enlace de rádio possui complexidade em sua análise, devido à natureza de estudo e as diversas variáveis que comprometem o resultado da eficiência do projeto. Tendo em vista o tópico citado, as simulações computacionais fornecem grande auxílio em projetos de telecomunicações e promovem resultados próximos da realidade, oferecendo redução de custos de protótipos e erros relacionados à implementação do projeto [2]. O software Radio Mobile® possibilita realizar projetos simulados de enlace de rádio ponto a ponto levando em consideração a topografia da região, dados técnicos dos equipamentos utilizados no enlace, além de variáveis referentes a perdas e eficiência do sistema [2].

Tendo em vista as vantagens de uso de software de simulação para projeto de enlace de rádio, o presente trabalho tem como objetivo realizar análise de viabilidade de enlace de rádio entre o campus UFRSA Mossoró e campus UFRSA Caraúbas, através de estudos de caso para três situações distintas, utilizando o Radio Mobile® como ferramenta de análise de viabilidade técnica para o estudo.

A primeira situação sugere a implementação de uma torre repetidora no ponto médio entre os campi, a segunda situação propõe a adição de uma torre repetidora na Serra Mossoró, e por fim, a última situação busca avaliar a viabilidade de um enlace direto utilizando uma faixa de frequência diferente dos outros casos propostos.

II. PROPAGAÇÃO NO ESPAÇO LIVRE

Nos primórdios dos sistemas de telecomunicação, a transmissão de informações era baseada na transferência de sinais através de cabos e fios condutores, como pelo telégrafo, por exemplo. A comunicação sem fio se tornou possível através dos estudos sobre a propagação de sinais

elétricos através do desprendimento do sinal oscilante para o espaço livre.

Mediante as contribuições do físico inglês Michael Faraday, James Clerk Maxwell percebeu que um campo elétrico variável produzia um campo magnético, e vice-versa. Dessa forma, um campo elétrico variante no tempo irá gerar um campo magnético variante no tempo, criando uma perturbação eletromagnética que se propaga através do espaço, composta por dois campos em recíprocas induções [3].

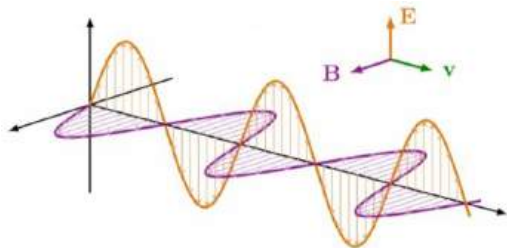


Fig. 1. Representação de uma onda eletromagnética, onde E, B e v indicam o campo elétrico, o campo magnético e a velocidade de propagação da onda, respectivamente. Fonte: [4].

A Fig. 1 expõe a natureza da propagação da onda eletromagnética, vale ressaltar que uma onda sempre será perpendicular com relação a outra, mas ambas percorrem a mesma direção de propagação. A frequência na qual a onda eletromagnética oscila é determinante no que diz respeito as características de propagação no espaço.

Os valores de frequência são usualmente divididos em faixas, cada faixa de frequência de propagação de ondas eletromagnéticas possui características distintas para os mecanismos de propagação e são aplicáveis para diferentes situações, ademais, as faixas de frequência podem ser licenciadas ou não. As faixas de frequências de 2,4 GHz e 5 GHz podem ser utilizadas para enlaces de rádio sem a necessidade de autorização, por serem faixas não licenciadas [3]. O presente projeto utilizará ambas as faixas de frequência para analisar a viabilidade do enlace de rádio entre os Campi da UFERSA para transferência de dados.

A. Rádio Enlace

Assim como a comunicação via satélite, o enlace de rádio se destaca na área de telecomunicação pela não necessidade de um meio físico metálico interligando os elementos comunicantes para seu funcionamento, ou seja, não é preciso existir conexão física entre as antenas de comunicação. Apesar da comunicação via cabo e/ou fibra possuir vantagens no que diz respeito a capacidade de transmissão, o enlace de rádio possui agilidade e facilidade na implementação. O enlace de rádio propicia comunicação entre duas pontas, transmitindo a informação de uma estação a outra, podendo ser entre operadoras e clientes [5]. A Fig. 2 mostra um exemplo de enlace de rádio.

Para o projeto e implementação do enlace, se faz necessário determinar a frequência de operação do enlace, que foi discutida na seção anterior deste trabalho, assim como a zona de Fresnel presente entre a estrutura transmissora e receptora. A zona de Fresnel pode ser entendida como a área elíptica em torno da linha de visada direta do enlace, onde obstáculos presentes na zona podem resultar em perdas na linha de visada direta entre os elementos comunicadores [5]. Obstruções reflexivas ao

longo da zona de Fresnel resultará em um sinal fora de fase, diminuindo a potência do sinal. A remoção de bloqueios e obstáculos da linha visada é necessário para que o receptor obtenha uma boa rádio comunicação [5].

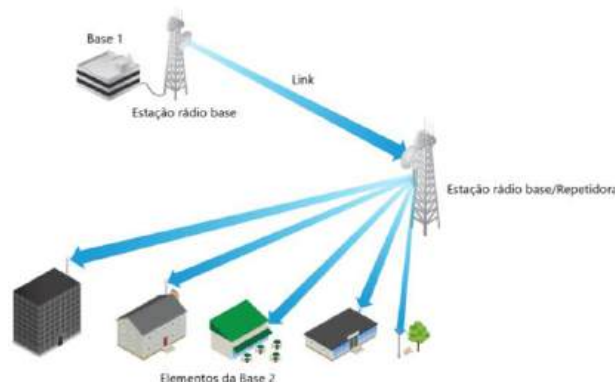


Fig. 2. Sistema de comunicação com enlace de rádio. Fonte: Adaptado de [8].

A velocidade de implementação do rádio enlace, aliado a características, como geografia da região e a fragilidade na instalação de fibra, mostram a aplicabilidade do projeto de enlace de rádio para situações onde existe o favorecimento topográfico e necessidade de rápida execução da comunicação.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em três estudos de caso a respeito da análise de viabilidade de um projeto de enlace de rádio entre o campus UFERSA Mossoró e campus UFERSA Caraúbas, utilizando o *software* de simulação Radio Mobile® por ser gratuito, seguido pela análise comparativa entre os casos explorados e constatando o caso mais aplicável para a proposta do projeto.

O Radio Mobile® é um *software* livre para uso, capaz de realizar simulação de enlaces de rádio ponto a ponto. É uma ferramenta usada para prever a performance de um sistema de rádio, usando os dados digitais de elevação do terreno para extração automática do perfil do caminho entre o emissor e receptor [6]. Os dados geográficos, como os pontos de interesse, topografia, e curva de relevo podem ser extraídos diretamente do Radio Mobile®, ou importados da plataforma Google Earth [7]. No presente trabalho, foram utilizados os dados disponibilizados no Google Earth. A Fig. 3 apresenta a tela inicial do *software*.

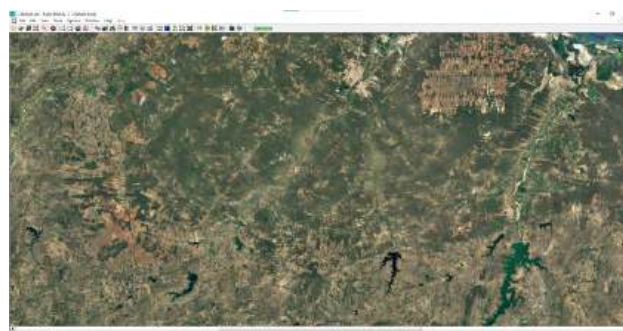


Fig. 3. Interface inicial do Radio Mobile®.

A distância compreendida entre o campus leste da UFRSA Mossoró e o campus UFRSA Caraúbas é de aproximadamente 69 km em uma linha reta, que configura o enlace ponto a ponto entre as duas localidades. A distância é uma informação determinante com relação a escolha do modelo de antena, e a curva de relevo formada entre os dois pontos irá determinar a influência da topografia, atuante como obstáculo reflexivo e refratário na zona de Fresnel.



Fig. 4. Mapa com visada direta entre o campus leste da UFRSA Mossoró e o campus UFRSA Caraúbas.

Na Fig. 4, é evidenciado os pontos de interesse no mapa da região. O ponto denominado ERB1-MSR refere-se à estação rádio base que estará situada no campus leste da UFRSA Mossoró, enquanto o ponto ERB2-CRB diz respeito a estação rádio base no campus UFRSA Caraúbas, onde tais estações serão compostas pela torre de transmissão, juntamente com antena e o rádio. Devido ao comportamento da curva de relevo observada entre os elementos do enlace, se faz necessário traçar estratégias para estabelecer uma linha de visada com menor obstrução possível.

Inicialmente, foi realizado o dimensionamento do sistema no Radio Mobile® partindo da escolha da estação base e da antena a ser utilizada em cada torre de transmissão. A antena RocketDish RD-5G34 e a estação de rádio Rocket M5 foram utilizadas para a montagem da simulação. A escolha dos equipamentos utilizados para simulação foi motivada pela disponibilidade do catálogo da fabricante Ubiquiti, constando dados digitais essenciais para predefinição do comportamento do sistema. A Fig. 5 ilustra os equipamentos definidos para utilização nas simulações.

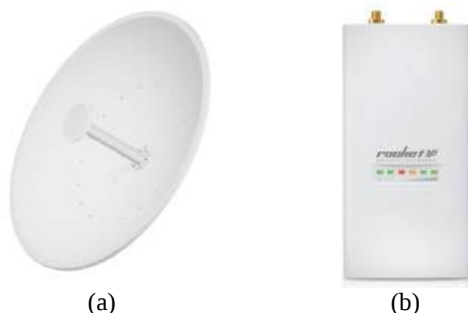


Fig. 5. (a) Antena RocketDish RD-5G34, (b) Estação de rádio Rocket M5. Fonte: Adaptado de [8].

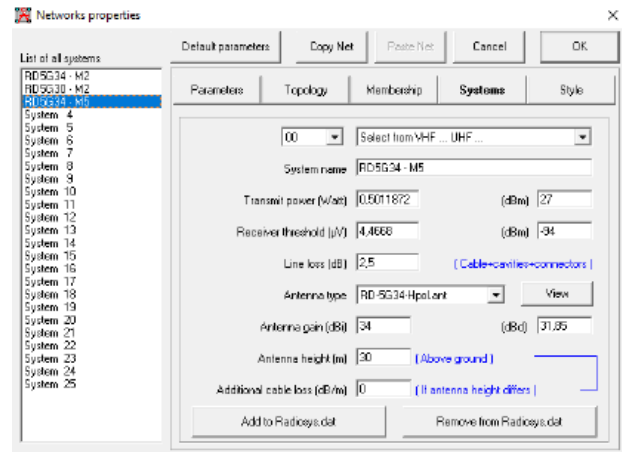


Fig. 6. Tela de configuração das propriedades de redes do software Radio Mobile®.

A Fig. 6 expõe a tela de configurações de propriedades de rede, onde no campo “Antenna type” é feito a importação do arquivo digital contendo o perfil de propagação da antena. Motivado pela disponibilidade do perfil de antena, manual de dados técnicos e pela disponibilidade de equipamentos que operam nas faixas de frequência não licenciadas a antena RocketDish RD-5G34 foi selecionada por ser o equipamento com maior ganho disponível no catálogo. Já a escolha da estação de rádio Rocket M5 se deu pela compatibilidade com a antena escolhida e pela faixa de operação desejada para análise.

A estação base Rocket M5 é projetada para funcionamento em transmissões ponto a ponto de dados em frequência 5 GHz, oferecendo funcionamento ideal para enlaces de longas distâncias, enquanto a antena RD-5G34 oferece perfil de alta diretividade, criada para enlace ponto a ponto, possuindo ganho de 34 dBi e projetada para operar com faixas de frequência de 2,4 GHz, 3 GHz e 5 GHz [8].

As faixas de frequência de 2,4 GHz, 3 GHz e 5 GHz são destinadas a serviços de telecomunicação, de acordo com a Anatel, mas somente as faixas 2,4 GHz e 5 GHz se classificam como autorizadas e liberadas para uso em radiocomunicação, tendo em vista que não se enquadram entre as redes privadas do Brasil [9,10].

As características da estação de rádio e da antena utilizada no sistema de transmissão são adicionadas ao *software* na montagem da rede antes do estabelecimento do local das torres. A Fig. 6 expõe a tela de configuração das propriedades da rede no Radio Mobile®, constando o ganho da antena, nível de sensibilidade do rádio, potência de saída do rádio, altura da antena com relação ao chão e perdas relacionadas a cabos e conexões.

A sessão a seguir discorre a respeito de três estudos de caso alternativos de enlace, com a finalidade de possibilitar a comunicação apesar da configuração topográfica entre os pontos de interesse. Dois dos três casos foram analisados a partir de simulações utilizando a faixa de frequência de 5 GHz, aplicando o intervalo de 4900 MHz a 5800 MHz, enquanto que o último caso, a faixa de frequência 2,4 GHz foi usada, esta operando no intervalo de 2400 MHz a 2485 MHz.

IV. RESULTADOS

A viabilidade do sistema é assegurada ao obter um nível de recepção acima do nível de sensibilidade da estação de rádio utilizada, para a Rocket M5 o valor desse parâmetro é de -94 dBm. O sistema, para todas as simulações realizadas, foi configurado com torres de 30 m de altura com 2,5 dB de perdas relacionadas a conectores e cabos. Com relação a potência de transmissão, o valor de 501 mW (27 dBm) foi utilizado para as simulações na faixa 5 GHz, e o valor 631 mW (28 dBm) foi utilizado para a simulação na faixa de frequência de 2,4 GHz. [2,8].

A partir do dimensionamento do sistema no Radio Mobile®, o enlace ponto a ponto entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB foi executado, com a finalidade de observar o comportamento e viabilidade da transmissão de visada direta entre os Campi na faixa de frequência 5 GHz, como observado na Fig. 7.

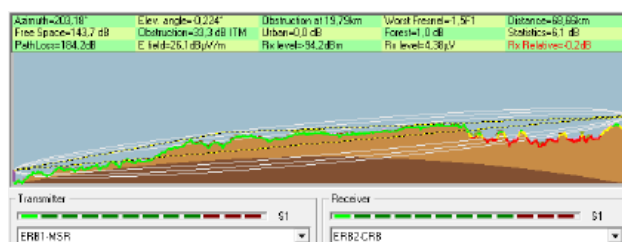


Fig. 7. Simulação do link direto entre estação rádio base campus leste UFRSA Mossoró (ERB1-MSR) e estação rádio base campus UFRSA Caraúbas (ERB2-CRB) na faixa de frequência 5 GHz.

O link direto entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB apresentou nível de sinal de recepção estimado de -94,2 dBm, com atenuação total de 184,2 dB, resultando em uma comunicação inviável, uma vez que o nível de sinal de recepção encontra-se abaixo da sensibilidade do receptor (-94 dBm). É possível observar que a configuração do relevo entre as antenas encontra-se obstruindo a zona de Fresnel. Esta é representada pelas linhas brancas mostradas na Fig. 7. A obstrução por parte do relevo absorve aproximadamente 33,3 dB do sinal transmitido.

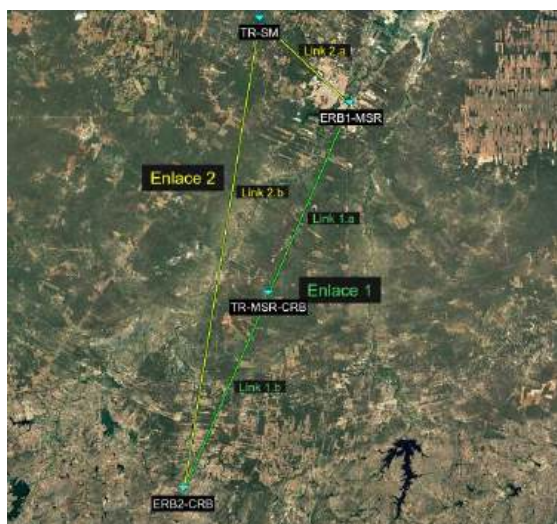


Fig. 8. Configuração de enlaces propostos para simulação.

A partir da adoção de torres repetidoras localizadas em relevo elevado, é possível realizar a desobstrução da zona de Fresnel do enlace, viabilizando a comunicação. A Fig. 8

expõe a configuração de dois enlaces possíveis a partir da adição de torres de repetição, tratando-se de dois casos de estudo distintos. O enlace 1 propõe a adição de uma torre de repetição no ponto médio entre a ERB1-MSR e ERB2-CRB, nomeada de TR-MSR-CRB (Torre repetidora-Mossoró-Caraúbas). O enlace 2 sugere o incremento de uma torre de repetição na Serra Mossoró, nomeada de TR-SM (Torre repetidora-Serra Mossoró). A serra foi escolhida como local de implementação da TR-SM devido a sua altitude e facilidade de acesso.

Os pontos TR-MSR-CRB e TR-SM também estão compostas pelo rádio Rocket M5 e antena RocketDish RD-5G34 para as simulações feitas. A adição de uma torre para cada caso de enlace a ser estudado resulta na adição de um link para cada enlace, sendo necessário que cada link seja viável para comunicação final do sistema.

A. Enlace 1 na faixa de frequência 5 GHz

1) Link 1.a

O nível de sinal de recepção apresentado no link entre a ERB1-MSR e TR-MSR-CRB foi de -72,5 dBm como pode ser observado na Fig. 9, configurando-se acima do limiar de sensibilidade do receptor, com uma margem de operação de 21,5 dBm, viabilizando o link. A margem se apresenta como uma folga importante para garantir operação para adversidades inesperadas, como chuvas, por exemplo [2]. Mesmo com sinal de recepção acima da sensibilidade do receptor, percebe-se ainda obstrução do relevo na zona de Fresnel entre as torres, resultando em uma atenuação de 17,2 dB por parte da obstrução da visada direta.

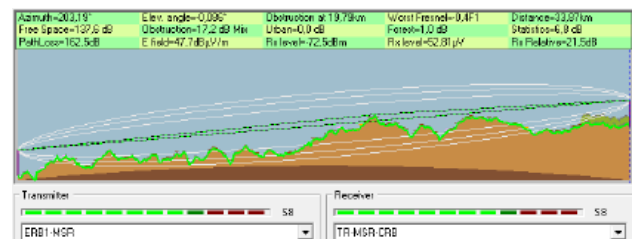


Fig. 9. Simulação do link 1.a entre estação rádio base campus leste UFRSA Mossoró (ERB1-MSR) e torre repetidora Mossoró-Caraúbas (TR-MSR-CRB).

2) Link 1.b

O sinal recebido na TR-MSR-CRB é transmitido através do link com a ERB2-CRB, com um nível de sinal de recepção de -55,3 dBm e com atenuação total de 145,3 dB. O nível de sinal recebido confirma a viabilidade do link por uma margem de operação de 38,7 dBm. Isso se dá pela menor obstrução na zona de Fresnel observada na visada entre TR-MSR-CRB e ERB2-CRB em comparação com o link 1.a, como pode ser observado na Fig. 10.

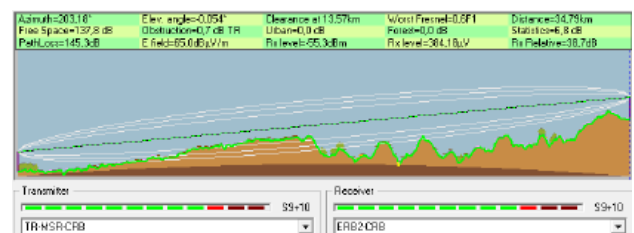


Fig. 10. Simulação do link 1.b entre torre repetidora Mossoró-Caraúbas (TR-MSR-CRB) e estação rádio base campus UFRSA Caraúbas (ERB2-CRB).

B. Enlace 2 na faixa de frequência 5 GHz

1) Link 2.a

A Serra Mossoró está a aproximadamente 20 km do campus leste da UFRSA Mossoró em uma linha reta. Devido a diferença de elevação no relevo entre as localidades, é possível obter uma comunicação limpa e sem obstrução, como exposto na Fig. 11. O nível de sinal de recepção de aproximadamente -47,4 dBm configura um link viável com folga na margem de operação de 46,6 dBm, caracterizando-se como o link mais eficiente dentre os enlaces. Isso se dá pela zona de Fresnel totalmente desobstruída entre as antenas, além da distância reduzida entre as torres em comparação com os demais links mostrados anteriormente.

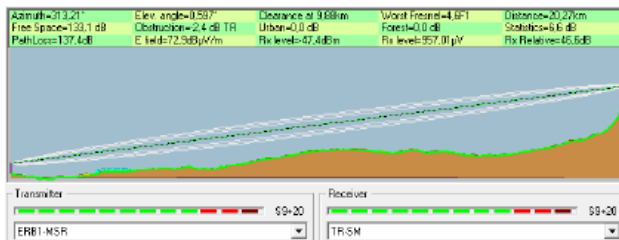


Fig. 11. Simulação do link 2.a entre estação rádio base campus UFRSA Mossoró (ERB1-MSR) e torre repetidora Serra Mossoró (TR-SM).

O Radio Mobile® permite alterar parâmetros da configuração do enlace de forma ágil, para os mesmos pontos de transmissão e recepção. Devido as características favoráveis ao link, foi realizado a simulação do link utilizando a antena RocketDish RD-5G30 dotada de 30 dBi de potência para verificar o padrão de comportamento da transmissão. Foi observado um nível de sinal de recepção de -58,3 dBm, evidenciando um link viável utilizando uma antena com menor potência e menor custo de mercado.

2) Link 2.b

Semelhante ao link entre a ERB1-MSR e a TR-SM, o link entre a TR-SM e ERB2-CRB foi estabelecido com interferência mínima do relevo na zona de Fresnel, com um nível de sinal de recepção de -62,7 dBm, viabilizando o link com 31,3 dBm de folga na margem de operação, como exposto na Fig. 12. Pode-se observar que mesmo não havendo obstáculos reflexivos compreendido na zona de Fresnel, a margem de operação apresentou valor próximo ao link 1.b, visto na Fig. 10, destacando que o fator distância possui grande influência na atenuação do sinal.

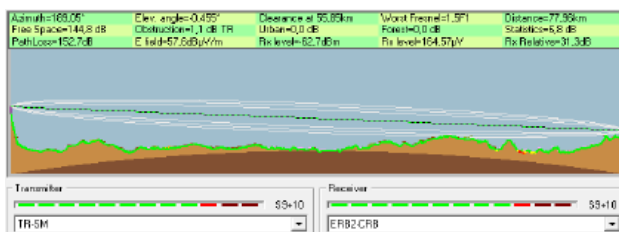


Fig. 12. Simulação do link 2.b entre torre repetidora Serra Mossoró (TR-SM) e estação rádio base campus UFRSA Caraiúbas (ERB2-CRB).

C. Enlace direto na faixa de frequência 2,4 GHz

Adicionalmente, por meio da aplicabilidade do software, um terceiro caso também foi simulado e analisado, tratando-se da comunicação direta entre ERB1-MSR e ERB2-CRB,

similar ao realizado e exposto na Fig. 13, porém utilizando a faixa de frequência 2,4 GHz.

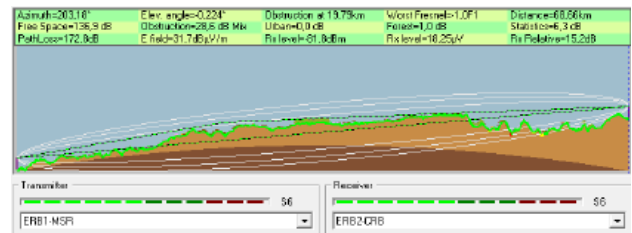


Fig. 13. Simulação do link direto entre estação rádio base campus leste UFRSA Mossoró (ERB1-MSR) e estação rádio base campus UFRSA Caraiúbas (ERB2-CRB) na faixa de frequência 2,4 GHz.

Para a realização da simulação em uma faixa de frequência distinta, se faz necessário a adoção de uma estação base de rádio diferente, projetada para operar na frequência desejada. A Rocket M2 realiza a comunicação na faixa de frequência 2,4 GHz possuindo nível de sensibilidade de -97 dBm na recepção, além de 631 mW (28 dBm) de potência de saída para transmissão [8]. A antena RocketDish RD-5G34 se manteve para este caso, devido a capacidade de operação para a faixa e frequência escolhida, além do alto ganho e diretividade.

Apresentando um nível de sinal de recepção de -81,8 dBm, a simulação do link direto utilizando a estação de rádio Rocket M2 e adotando a faixa de frequência de 2,4 GHz provou viabilidade e comunicação com folga de operação e 15,2 dB. A atenuação total pelo caminho percorrido do sinal foi de 172,8 dB, podendo apresentar valor maior para situações climáticas não previstas, diminuindo assim a folga de operação. É importante destacar que para este caso, a atenuação por obstrução foi de 28,6 dB, apresentando valor superior ao caso do enlace direto na faixa de frequência 5 GHz. Isso ocorre pelo fato da zona de Fresnel possuir maior área para o caso de 2,4 GHz, uma vez que a zona de Fresnel varia com o valor de frequência de transmissão.

D. Análise dos Links

Através das simulações dos links propostos para os enlaces, é possível a identificação dos pontos críticos para execução do projeto de enlace, assim como a decisão da estratégia a ser tomada para estabelecer fisicamente os equipamentos. A Tabela I traz um comparativo direto entre cada link, informando a distância entre os elementos transmissor e receptor, assim como o nível de sinal de recepção e a viabilidade do link.

Os enlaces 1 e 2 na faixa de frequência 5 GHz, e o enlace direto em 2,4 GHz apresentam viabilidade em seus respectivos links, possuindo sinal de recepção acima do limiar de sensibilidade da estação base Rocket M5 e Rocket M2, operando dentro da faixa 5 GHz e 2,4 GHz, respectivamente. O pior caso analisado entre os links simulados dentre os enlaces propostos pelo trabalho, foi o link direto na faixa de frequência de 2,4 GHz. O nível de sinal de recepção obtido para este caso, apesar de próximo ao limiar de sensibilidade da estação de rádio com relação aos demais links, constou com folga de operação superior a 15 dB, garantindo operabilidade em situações adversas não previstas. É pertinente para o link direto na faixa de frequência de 2,4 GHz a adição de amplificadores de sinal na

estação rádio base receptora, com o objetivo de assegurar a comunicação para situações não previstas.

TABELA I. TABELA COMPARATIVA ENTRE OS LINKS SIMULADOS.

Enlace	Enlace direto	Enlace 1		Enlace 2		Enlace direto
Faixa de frequência	5 GHz	5 GHz	5 GHz	5 GHz	5 GHz	2,4 GHz
Links	Link direto	Link 1.a	Link 1.b	Link 2.a	Link 2.b	Link direto
Ponto do Transmissor	ERB1-MSR	ERB1-MSR	TR-MSR-CRB	ERB1-MSR	TR-SM	ERB1-MSR
Ponto do Receptor	ERB2-CRB	TR-MSR-CRB	ERB2-CRB	TR-SM	ERB2-CRB	ERB2-CRB
Distância	68,66 km	33,87 km	34,79 km	20,27 km	77,96 km	68,66 km
Nível de Sinal de Recepção	-94,2 dBm	-72,5 dBm	-55,3 dBm	-47,4 dBm	-62,7 dBm	-81,8 dBm
Nível de Sensibilidade	-94 dBm	-94 dBm	-94 dBm	-94 dBm	-94 dBm	-94 dBm
Viabilidade do link	Inviável	Viável	Viável	Viável	Viável	Viável

As modificações de parâmetros de projeto influenciam diretamente nos resultados referente aos links, ações como aumentar a altura das torres, usar antenas com maior ganho, utilizar faixas de frequência diferentes, reposicionar e até mesmo adicionar torres impactam diretamente no sinal de recepção do link.

V. CONCLUSÃO

Diante da proposta de estabelecer a comunicação por enlace de rádio entre os Campi da UFERSA Mossoró e UFERSA Caraúbas, aliado aos estudos dos casos por meio do Radio Mobile®, constata-se que o enlace 2 apresentou-se como alternativa mais interessante, do ponto de vista de engenharia no que diz respeito a nível de sinal de recepção e logística de construção e acesso ao local de implementação da torre repetidora. O ponto TR-SM é dotado de fácil acesso, auxiliando na construção de montagem da torre TR-SM, enquanto não há informação a respeito de acesso ao ponto TR-MSR-CRB, dificultando a visita em loco para análise e implementação da torre. Apesar da distância de aproximadamente 78 km entre TR-SM e ERB2-CRB, o link categorizou-se como viável, com folga de operação superior a 30 dBm, superando a margem do link 1.a. O enlace 2 também oferece a possibilidade de reduzir gastos do link 2.a adotando antenas de menor ganho, mantendo a eficiência do link.

Devido as diferentes características de propagação do sinal para diferentes faixas de frequência, o enlace direto na faixa de 2,4 GHz possibilitou a comunicação direta onde para a faixa de frequência de 5 GHz não foi possível. É pertinente, para estudos futuros, analisar as características do uso de frequências mais baixas na comunicação a rádio, assim como o impacto do nível de sinal recebido na qualidade da transmissão de dados, verificando a viabilidade para o caso de enlace direto na faixa de 2,4 GHz. Para faixas de frequência mais baixas, haverá aumento no nível de sinal

de recepção, porém, consequentemente ocorrerá diminuição na banda do canal, impactando a capacidade de transmissão.

Esclarecido pela análise, conclui-se que a ferramenta é importante para o fortalecimento dos conhecimentos sobre rádio comunicação e suas características, como especificações de antenas, parâmetros de comunicação de micro-ondas, zona de Fresnel e etc. Através do software é possível obter um panorama de como será o projeto executado e sua performance. Mesmo com os aspectos apresentados pelo software, a visita em loco para fins de engenharia de construção é primordial para a execução final do sistema, assim como a análise custo-benefício da execução do enlace.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Os autores agradecem também, a CAPES e ao Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas LabMicro da UFERSA.

REFERÊNCIAS

- [1] PIAU, Diego de Brito; CARRIJO, Gilberto Arantes. PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO. Ciência & Engenharia: (Science & Engineering Journal), Uberlândia, p. 81-90, dez. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14554>. Acesso em: 02 out. 2024.
- [2] ANJOS, André Antônio dos; Silva Junior, Ricardo Augusto da; COGLIATTI, Rodrigo. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA MICRO-ONDAS PARA DISTRIBUIÇÃO DE SINAIS DE TV DIGITAL USANDO O SOFTWARE RADIO MOBILE. Forscience, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 68-78, ago. 2014. doi: <https://doi.org/10.29069/forscience.2014v2n1.e73>. Acesso em: 01 out. 2024.
- [3] MANITO, Rodrigo da Rocha. PROJETO DE VIABILIDADE DE RÁDIO ENLACE. 80 f. Monografia – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/33078>. Acesso em: 01 out. 2024.
- [4] HOSTI, B. P. As equações de Maxwell e a revolução do eletromagnetismo. Espaço-Tempo, 2021. Disponível em: <https://www.espacotempo.com.br/equacoes-de-maxwell-eletromagnetismo>. Acesso em: 05 out. 2024.
- [5] BARROS JÚNIOR, José Iran Reinaldo. Análise de desempenho de um enlace ponto a ponto entre Meruoca e Sobral. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2017.
- [6] CONDÉ, R., Radio Mobile, 2023. Disponível em: <http://www.ve2dbe.com/english1.html>. Acesso em: 03 out. 2024.
- [7] GOOGLE EARTH. Versão 7.3.6. Mountain View, CA: Google Inc., 2023. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 28 set. 2024.
- [8] IPS WIRELESS – ANTENNA DATA OVERVIEW. Disponível em: <https://help.uisp.com/hc/en-us/articles/22590866238359-ISP-Wireless-Antenna-Data-Overview>. Acesso em: 03 out. 2024.
- [9] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). Redes Privativas. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/radiofrequencia/redes-privativas>. Acesso em: 14 out. 2024.
- [10] BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Resolução nº 759, de 19 de janeiro de 2023. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 jan. 2023. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2023/1834-resolucao-759>. Acesso em: 14 out. 2024.

Modelo de Deep Learning para detecção de fissuras em imagens térmicas

1th Letícia Vieira Gonçalves
UFERSA

Pau dos Ferros, Brasil
leticia.vieira@alunos.ufersa.edu.br

2th Rosana Cibely Batista Rego
DETEC

UFERSA
Pau dos Ferros, Brasil
rosana.rego@ufersa.edu.br

3th Paulo Henrique Araújo Bezerra
DETEC

UFERSA
Pau dos Ferros, Brasil
paulo.bezerra@ufersa.edu.br

Abstract—A detecção automatizada de fissuras em estruturas é crucial para garantir a durabilidade e segurança das edificações, especialmente em regiões sujeitas a variações térmicas. Este estudo propõe um modelo de *Deep Learning* baseado em Redes Neurais Convolucionais (RNCs) para detecção e classificação de fissuras em imagens térmicas de elementos construtivos. Utilizou-se um conjunto de dados balanceados com 128 imagens térmicas, ampliado para 2000 amostras via técnicas de aumento da quantidade de dados. A arquitetura da RNC incluiu camadas convolucionais, *pooling*, *dropout* e a função de ativação *Sigmoide* para classificação binária.

Index Terms—Detecção, fissura, redes neurais convolucionais, infravermelho.

I. INTRODUÇÃO

A termografia infravermelha é uma técnica utilizada para a inspeção de estruturas [1], permitindo a identificação de discontinuidades e defeitos que podem comprometer a durabilidade das edificações. Esse método baseia-se na captura da radiação térmica emitida pelos materiais, possibilitando a detecção de variações de temperatura associadas a anomalias em elementos construtivos.

A preservação da integridade das edificações é fundamental para garantir a segurança e o conforto dos usuários [2]. No entanto, a formação de fissuras pode comprometer a durabilidade e a funcionalidade das construções. Dentre esses fatores, as variações de temperatura desempenham um papel significativo, sobretudo em regiões sujeitas a grandes amplitudes térmicas [3].

Algoritmos de Aprendizado Profundo têm sido utilizados para detectar fissuras na construção civil, conforme [4], e essa abordagem vem se consolidando como uma ferramenta eficiente na inspeção automatizada de estruturas [5]. Nesse sentido, estudos recentes têm explorado e aprimorado essas técnicas, demonstrando seu potencial para aumentar a confiabilidade e a precisão na análise de fissuras [6].

Este estudo propõe um modelo de aprendizado de máquina para a detecção automatizada de fissuras em imagens térmicas de elementos construtivos, com ênfase naquelas originadas por variações térmicas. Essa abordagem apresenta um potencial para aprimorar as inspeções em edificações, viabilizando a identificação precoce de danos, permitindo a otimização dos processos de manutenção e a consequente redução de custos.

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: na seção II, Metodologia, são descritos o conjunto de dados, as técnicas

de aumento de amostras e o pré-processamento aplicado às imagens térmicas, além da arquitetura da rede neural convolucional proposta. Na seção III, Resultados e Discussão, são analisadas métricas como acurácia, perda e matriz de confusão, revelando tanto o potencial das RNCs para detecção de fissuras em imagens térmicas, quanto os desafios práticos desse tipo de aplicação. Por fim, na seção IV, Considerações Finais, destaca-se a necessidade de integrar dados termográficos a outras modalidades espectrais para aprimorar o modelo e a seção V, Referências.

II. METODOLOGIA

A. Conjunto de dados

Este estudo utiliza um conjunto de dados privado para detecção de fissuras em superfícies de elementos construtivos, composto por duas classes: Positivo (imagens térmicas com fissura) e Negativo (imagens térmicas sem fissuras), conforme ilustram as Figuras 1 e 2. O conjunto de treinamento inicial contém 128 imagens, enquanto o conjunto de teste inclui 32 imagens.

Para garantir um treinamento adequado, as classes foram balanceadas utilizando a técnica de *Random Over Sampling* com reposição, replicando aleatoriamente amostras de classes minoritárias e resultou em um aumento efetivo na quantidade de dados. O processo possibilitou que ambas as classes no conjunto de treinamento possuíssem o mesmo número de amostras, totalizando 1000 imagens para cada classe. Diante disso, dividiu-se o conjunto total de dados nos subconjuntos de treino e teste, respectivamente, 80% e 20% dos dados. Essa divisão garante que o modelo seja avaliado em dados não vistos durante o treinamento, permitindo medir sua capacidade de generalização. O método *train_test_split* da biblioteca *sklearn* foi utilizado para dividir os dados, permitindo que o modelo aprendesse padrões nas imagens e fosse testado com dados inéditos. As imagens do conjunto de dados tinham dimensões de 320x240 pixels e estavam na escala RGB.

B. Rede Neural Convolucional

As Redes Neurais Convolucionais (RNCs) emergiram no campo da inteligência artificial, impulsionando avanços significativos em diversas áreas, com destaque para o processamento de imagens. Essa arquitetura permite a extração automática de características complexas a partir de dados

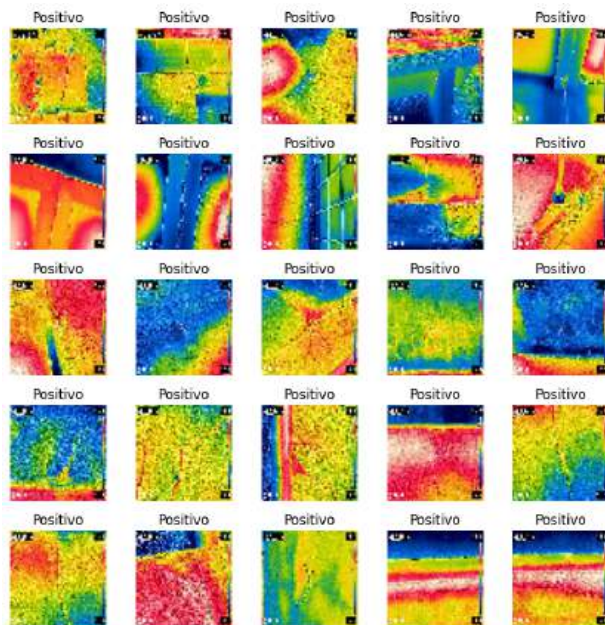


Fig. 1. Imagem com fissura - Positivo.

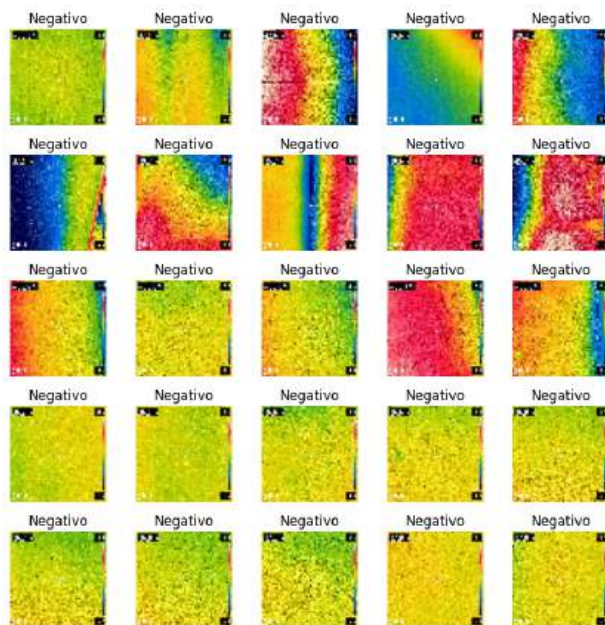


Fig. 2. Imagens sem fissuras - Negativo.

visuais, superando as limitações das abordagens tradicionais [7]. Dessa forma, as RNCs compõem uma das arquiteturas de redes neurais artificiais amplamente aplicadas a diferentes domínios e tipos de dados. Esse tipo de rede é projetado para algoritmos de Aprendizado Profundo, sendo altamente eficaz no reconhecimento de imagens e no processamento de informações visuais em nível de pixel [8].

O funcionamento da estrutura das RNCs se assemelha ao do cérebro humano, no qual os neurônios são organizados de maneira específica para processar estímulos visuais [9]. Por sua vez, as RNCs possuem camadas de neurônios interconectados que operam de forma análoga ao córtex visual, responsável pelo processamento de informações visuais no cérebro [10]. Essa disposição permite que a RNC analise toda a região de uma imagem de maneira eficiente, evitando limitações comuns em redes neurais convencionais. Comparadas a modelos anteriores, as RNCs oferecem um desempenho superior no tratamento de imagens e podem ser aplicadas a outras formas de entrada, como áudio e fala, garantindo maior precisão na extração de padrões [11].

A arquitetura da RNC empregada neste trabalho apresenta duas camadas convolucionais (Conv2D). A primeira camada captura características locais simples, como bordas e texturas, e a segunda camada aprofunda a representação, extraindo padrões abstratos e robustos. Essas camadas aplicam filtros (kernels) à imagem de entrada, realizando convoluções e gerando mapas de características. A função de ativação *ReLU* (*Rectified Linear Unit*) é utilizada após as convoluções, melhorando a eficiência do treinamento. Em seguida, camadas de *Max Pooling* reduzem a dimensão espacial dos mapas de características e o número de parâmetros, e auxiliam na prevenção do *Overfitting*.

O tamanho de *kernel* 3x3 foi utilizado por sua eficiência na captura de padrões locais e por manter equilíbrio entre capacidade de aprendizado e custo computacional. A escolha de 512 e 256 filtros visa aumentar a capacidade de extração de características visuais relevantes. As camadas de *Dropout* foram inseridas com taxa de 20% com o objetivo de reduzir o risco de *Overfitting*, promovendo maior generalização do modelo durante o treinamento.

A definição dos hiperparâmetros foi realizada com base em testes exploratórios e em boas práticas da literatura. Foram ajustadas manualmente quantidades de filtros, tamanho de *kernel* e a taxa de aprendizado do otimizador *Adam* em 0,001.

Os experimentos foram conduzidos em um ambiente local com o sistema operacional *Windows*, utilizando uma *GPU NVIDIA GeForce RTX 3050* com 4 GB de memória dedicada, *driver* versão 566.36 e suporte ao *CUDA 12.7*. A execução foi realizada com suporte ao *driver WDDM* (*Windows Display Driver Model*).

A transição das camadas convolucionais para as densas foi feita pela camada *Fatten*, que "achata" o tensor multidimensional em um vetor unidimensional, essencial para conectar as características espaciais às camadas de classificação. As camadas densas combinam linearmente essas características, seguidas por ativações não-lineares. Na saída, utiliza-se a

função *Sigmoid* para problemas de classificação binária, pois ela transforma a saída em uma probabilidade entre 0 e 1.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como critérios de avaliação foram consideradas a precisão, a perda de treinamento e validação, bem como a matriz de confusão.

A Rede Neural Convolutacional (RNC) atingiu uma acurácia de 0,99 no treinamento e de 1,0 ao final da validação (Figura 3), apresentando também perdas baixas, de 0,03 no treinamento e de 0 na validação (Figura 4). Apesar do desempenho promissor, os testes revelaram que o modelo enfrenta dificuldades em identificar fissuras em algumas imagens específicas, resultando em falsos negativos e falsos positivos, como observado na matriz de confusão (Figura 5) e nos resultados de classificação (Figura 6). Este cenário evidencia a necessidade de investigar outras abordagens para melhorar a capacidade de detecção do modelo.

As métricas do modelo, nos testes realizados, obtiveram uma acurácia de 0,875, precisão de 0,894, recall de 0,875 e F1-score de 0,862. Em outro cenário de avaliação, a acurácia foi de 0,6875, com precisão de 0,749, recall de 0,688 e F1-score de 0,709. Esses resultados reforçam a importância de uma análise mais ampla para identificar limitações específicas do modelo.

No presente estudo, o conjunto de validação foi composto a partir de uma divisão simples dos dados em treino e validação, sem a aplicação de técnicas de validação cruzada. Assim, embora o desempenho nas métricas tenha sido elevado, não é possível assegurar que o modelo mantenha tal desempenho em diferentes subconjuntos de dados. Adicionalmente, a ausência de validação cruzada limita a generalização dos resultados, uma vez que a performance foi avaliada em uma única configuração de divisão dos dados.

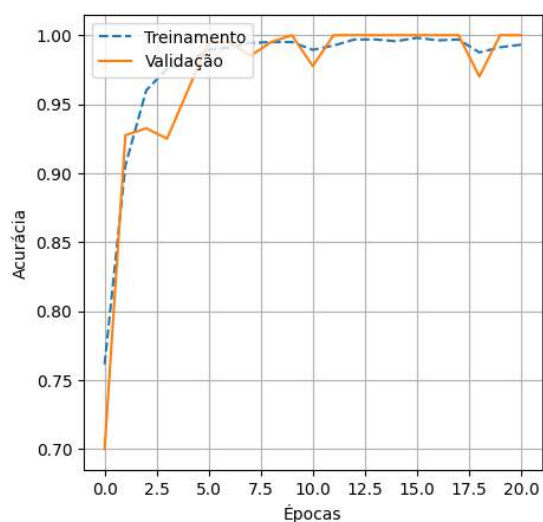


Fig. 3. Acurácia da RNC.

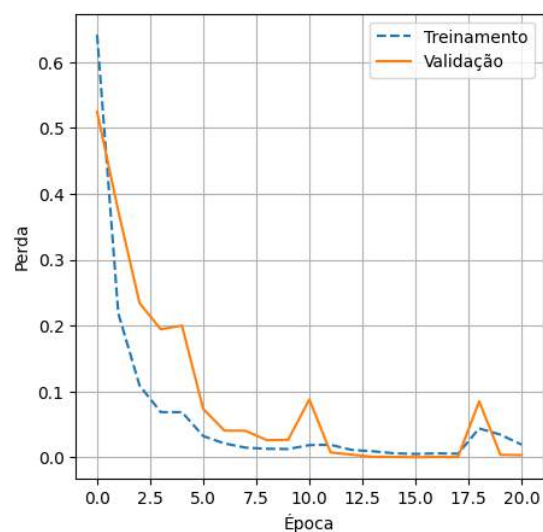


Fig. 4. Perda da RNC

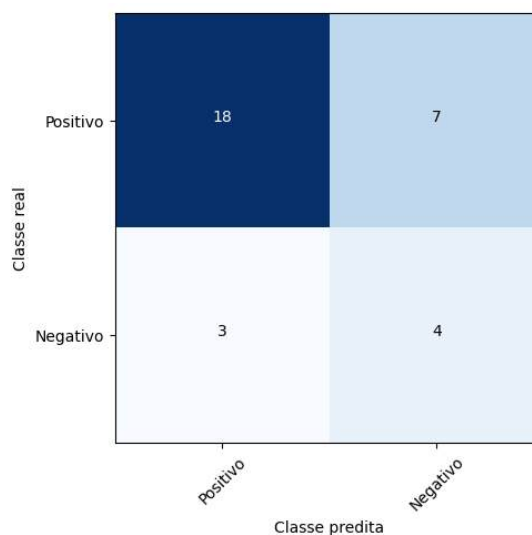


Fig. 5. Matriz de confusão.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou o potencial das Redes Neurais Convolucionais (RNCs) na classificação de imagens RGB, destacando sua eficácia na extração automática de características complexas. O modelo atingiu alta acurácia e baixa perda na validação, evidenciando sua capacidade de aprender os padrões apresentados. No entanto, a ocorrência de falsos positivos e falsos negativos apontou para desafios relacionados à generalização, além de possíveis limitações no conjunto de dados utilizados.

A análise dos gráficos de desempenho revelou que o modelo atingiu rapidamente altos valores de acurácia e baixos valores de

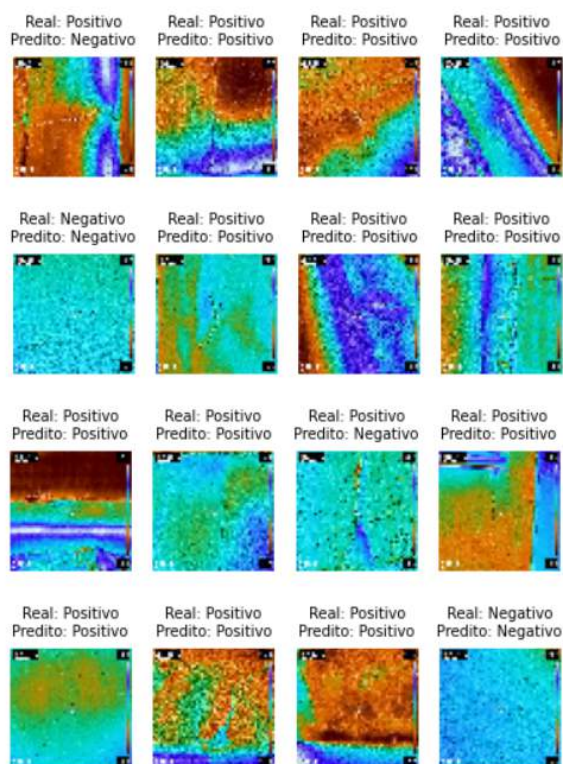


Fig. 6. Resultado da classificação com aplicação do modelo RNC.

de perda, tanto no treinamento quanto na validação, o que pode indicar uma tarefa pouco desafiadora devido à baixa diversidade dos dados. A ausência de técnicas de validação cruzada também limita a avaliação da robustez do modelo, sendo recomendada a adoção de estratégias de validação mais rigorosas em estudos futuros.

Experimentos com imagens térmicas destacaram dificuldades adicionais, como baixa resolução de textura e contraste insuficiente, especialmente em ambientes homogêneos. Esses fatores indicam a necessidade de ajustes na arquitetura da rede e da utilização de técnicas de regularização para melhor lidar com diferentes tipos de imagens.

Em síntese, este trabalho reforça a aplicabilidade das RNCs em visão computacional para a detecção de fissuras em elementos construtivos, sobretudo com a integração de dados térmicos e espectrais. Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se o aumento da diversidade do conjunto de dados, a utilização de diferentes tipos de câmeras e o aprimoramento da arquitetura do modelo, visando a melhoria da capacidade de generalização e a robustez em cenários mais desafiadores.

V. REFERÊNCIAS

- [1] Angela Busheska, Nicholas Sabella, Nara Almeida, e Eudes Rocha, "Machine Learning and Thermography Applied to the Detection and Classification of Cracks in Buildings," *2023 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, pp. 247–251, 2023. doi: 10.1109/SusTech57309.2023.10129614. .
- [2] Sorin Muntean e Ioan Adrian Anton (Eds.), "Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience: Proceedings of the 4th International Conference CESARE 2024, Timișoara, Romania: Springer, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-57800-7.
- [3] F. Forest, H. Porta, D. Tuia, e O. Fink, "From classification to segmentation with explainable AI: A study on crack detection and growth monitoring," *Automation in Construction*, vol. 165, p. 105497, 2024. doi: 10.1016/j.autcon.2024.105497. .
- [4] R. Ali, J. H. Chuah, M. S. A. Talip, N. Mokhtar, e M. A. Shoaib, "Structural crack detection using deep convolutional neural networks," *Automation in Construction*, vol. 133, p. 103989, 2022. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103989.
- [5] Ali Waqas e Mohamad T. Araj, "Machine learning-aided thermography for autonomous heat loss detection in buildings," *Energy Conversion and Management*, vol. 304, p. 118243, 2024. doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118243.
- [6] S. R. Jambula, S. C. Mathi, S. N. Polu, K. G. O. JM, V. P. Mateti, e S. Yadav, "Enhanced UAV with image-driven concrete crack detection," *2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, pp. 1730–1737, 2023. doi: 10.1109/ICECA58529.2023.10395650.
- [7] S. Awati, *Deep learning for image recognition: Convolutional Neural Networks (RNCs)*. Academic Press, 2023.
- [8] Younes Hamishebahar, Hong Guan, Stephen So e Jun Jo, "A Comprehensive Review of Deep Learning-Based Crack Detection Approaches," *Applied Sciences*, vol. 12, p. 1374, 2022. doi: 10.3390/app12031374.
- [9] Paolo Muratore, Sina Tafazoli, Eugenio Piasini, Alessandro Laio, e Davide Zoccolan, "Prune and distill: similar reformatting of image information along rat visual cortex and deep neural networks," *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, pp. 1–13, 2022.
- [10] Jea Kwon, SungJun Lim, Kyungwoo Song, e Chulhee Lee, "Brain-inspired L_p -Convolution benefits large kernels and aligns better with visual cortex," *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, pp. 1–15, 2025.
- [11] Jack Lindsey, Samuel Ocko, Surya Ganguli, e Stephane Deny, "A Unified Theory of Early Visual Representations from Retina to Cortex through Anatomically Constrained Deep CNNs," *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, pp. 1–10, 2019.

MODELAGEM COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA DO SINAL 5G NA ÁREA URBANA DE MOSSORÓ

Pedro Arthur Freitas da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
pedro.silva67350@alunos.ufersa.edu.br

Dr. Humberto Dionísio de Andrade
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
idalmir@ufersa.edu.br

Thiago de Carvalho Rego
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
thiago.rego@alunos.ufersa.edu.br

Caiky Breno Santiago Chaves
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
caiky.chaves@alunos.ufersa.edu.br

Elison Wediley dos Reis Silva
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
elison.silva@alunos.ufersa.edu.br

Nickson Saymon de Oliveira Lopes
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
nicksonsaymon@gmail.com

Andre Pedro Fernandes Neto
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
andrepedro@ufersa.edu.br

Resumo— O avanço das telecomunicações tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias, com destaque para a implementação do 5G, que promete maior velocidade e menor latência na transmissão de dados. Diante desse cenário, torna-se essencial avaliar a qualidade da recepção do sinal em diferentes ambientes. Este estudo tem como objetivo medir e analisar os campos elétricos na faixa de 5G em uma região metropolitana de Mossoró, determinando a faixa de potência do sinal e sua adequação aos padrões de qualidade estabelecidos por órgãos reguladores como Anatel e obedecendo também aos padrões do IEEE. Os resultados contribuíram para compreender a eficiência da cobertura e possíveis desafios na implementação dessa tecnologia.

Keywords—5G, medição, telecomunicações, faixa de potência

Abstract— Advances in telecommunications have driven the development of new technologies, with emphasis on the implementation of 5G, which promises greater speed and lower latency in data transmission. Given this scenario, it is essential to evaluate the quality of signal reception in different environments. This study aims to measure and analyze electric fields in the 5G band in the metropolitan region in Mossoró, determining the signal power range and its adequacy to the quality standards established by regulatory bodies such as Anatel and complying with IEEE standards. The results contributed to understanding the efficiency of coverage and possible challenges in implementing this technology.

Keywords—5G, measure, telecommunications, power range

I. INTRODUÇÃO

O advento das telecomunicações tem permitido a implementação de novas tecnologias, sendo o 5G um dos avanços mais significativos [1]. No entanto, sua cobertura ainda apresenta desafios, com relatos de variações na qualidade do sinal em diferentes ambientes. Fatores como a densidade de usuários e a infraestrutura disponível influenciam diretamente na recepção, tornando essencial a análise do desempenho do 5G em cenários urbanos e periféricos.

Em alguns desses locais, o sinal apresenta instabilidade, interferências ou baixa intensidade, prejudicando a conexão dos usuários que dependem dessa tecnologia em dispositivos móveis, sistemas IoT e equipamentos de automação. Os motivos principais para estas falhas estão associados a fatores como barreiras físicas, falta de infraestrutura adequada e a necessidade de ajustes técnicos na distribuição das faixas de frequência utilizadas pelo 5G.

Nos últimos anos de desenvolvimento tecnológico na área de telecomunicações, a evolução de novas técnicas para melhorar a qualidade de sinal vem sendo amplamente discutida no mundo, o 5G é a tecnologia de 5ª geração sucessora do 4G, que promete avanços significativos em velocidade, latência reduzida e maior capacidade de conexão simultânea.

A padronização do 5G é definida pelo *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, que estabelece as especificações técnicas da tecnologia, incluindo arquitetura de rede, protocolos de comunicação e alocação espectral [2]. No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) regulamentou a operação do 5G na faixa de 3,5 GHz, principal

banda de frequência utilizada globalmente. Os principais provedores de serviços móveis já implementam essa faixa para oferecer conectividade aprimorada, viabilizando aplicações de baixa latência e alta capacidade de transmissão de dados.

Além da faixa de 3,5 GHz, utilizada para a implementação do 5G no Brasil, as principais provedoras de serviços móveis – TIM, Claro e Vivo – operam em diferentes porções do espectro. A TIM, em particular, detém a faixa entre 3.500 e 3.600 MHz [3], que será o foco deste estudo para a realização das medições de nível de potência do sinal. A análise dessa frequência específica permitirá avaliar o desempenho da rede em termos de cobertura, intensidade do sinal e possíveis interferências, contribuindo para um melhor entendimento da qualidade da recepção em ambientes urbanos.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo realizar a análise da situação dos campos para atestar a qualidade da distribuição do sinal 5G na faixa de 3,56GHz. Serão realizados estudos detalhados, utilizando equipamentos especializados como o analisador de espectro e antena do tipo dipolo, para medir a qualidade e intensidade do sinal 5G em diferentes condições geográficas e urbanas. Foram utilizadas antenas específicas para captação do nível de potência do sinal do sinal em questão e *software* para modelagem geográfica tal como o Surfer v.13 que será empregado para identificar as áreas mais críticas, permitindo uma revisão precisa da distribuição e eficiência do sinal. Essas ações visam garantir que a tecnologia 5G atenda plenamente às exigências normativas, assegurando uma conectividade estável e de qualidade.

II. REFERENCIAL TEORICO

Em [4], aborda o planejamento e a predição de cobertura de redes 5G *outdoor*, focando na otimização da qualidade do sinal. O estudo visa suprir as limitações das redes 4G, simulando cenários na cidade de Florianópolis utilizando o *software* Atoll. A pesquisa explora os cenários de uso do 5G, o espectro de frequências e as técnicas de diversidade, como MIMO e *beamforming*. Modelos de propagação, como Okumura-Hata e COST-231 Hata, são analisados para prever a cobertura e o desempenho da rede. O objetivo é analisar os resultados obtidos para melhorar a cobertura, a modulação e a taxa de transferência de dados, considerando fatores como reflexão e refração do sinal.

Para [5], trabalho investiga a propagação de sinais 5G na frequência de 3,5 GHz em um cenário urbano denso, simulando a tecnologia na cidade de Patos de Minas, Minas Gerais. A pesquisa foca em analisar o desempenho da rede 5G sob diferentes condições, incluindo o uso de modulações de alta ordem (até 256-QAM) e técnicas como MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), avaliando o impacto de correções de "downtilt" (ângulo de inclinação da antena) e modelos de propagação (*Freespace* e *Close-in*) nas taxas de dados alcançáveis. O autor busca compreender os desafios de implementação do 5G no contexto regional brasileiro.

Para [6], o foco principal do artigo é a predição da cobertura para redes 5G na Zona Econômica Especial de Luanda-Bengo (ZEE), explorando modelos matemáticos e um *software* de simulação (Atoll) para analisar a viabilidade da implementação da tecnologia 5G na região. O estudo utilizou dados preliminares coletados por questionários e simulou a cobertura da rede 5G com base na infraestrutura existente, além de avaliar modelos de propagação como *Longley-Rice*, SPM e SUI. O objetivo é fornecer informações para

operadoras de redes móveis, visando a melhoria e expansão dos serviços de telecomunicações na área.

A. Interpolação Espacial

No estudo de potência de sinal fornecido por uma operadora de telefonia móvel em uma determinada área de cobertura, os dados obtidos são naturalmente pontuais. Por este motivo, para fins de predição dos campos espectrais é necessário um método de suavização destes dados. Dessa forma as regiões localizadas nos intermédios dos pontos medidos precisam ser consideradas, resultando em um mapeamento mais preciso [7].

Para o escopo do trabalho, foram utilizados 3 métodos de interpolação espacial: Curvatura Mínima, Inverso do Quadrado da Potência e *Kriging*, nos quais serão comparados e discutidos, afim de se obter um melhor processamento de dados que se adequa à realidade da situação dentro da região a ser estudada.

B. Estações de Rádio Base (ERB)

No Brasil, a propagação do sinal de rádio é primeiramente licenciada e homologada com a Anatel antes que o sinal possa ser liberado e utilizado dentro da rede. A prestadora então terá a autorização de transmitir o sinal na frequência estabelecida que será transmitida por uma ERB como ilustrado na Figura 3, assim, sendo possível a recepção do sinal via telefones celulares e outros aparelhos.

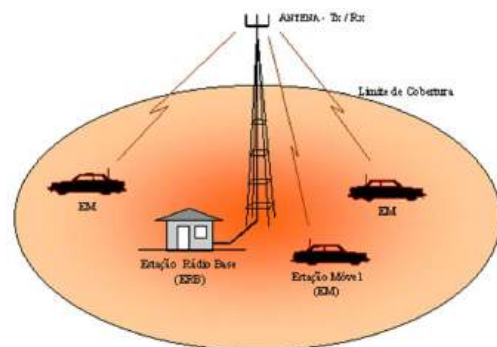


Fig. 1 – Ilustração para uma ERB [8] .

ERB (Estação Rádio Base) é a infraestrutura de telecomunicações responsável pela comunicação entre dispositivos móveis e a rede de uma operadora. Consiste em um conjunto de equipamentos, incluindo antenas, transmissores, receptores e controladores, que permitem a transmissão e recepção de sinais de radiofrequência dentro de uma determinada área de cobertura.

C. RSSI (Received Signal Strength Indicator)

O indicador de potência de sinal recebido, RSSI [9], é o parâmetro de radiofrequência utilizado para melhor visualização da potência dos campos medidos em dBm. Os campos elétricos medido possuem uma faixa de potência que varia entre escalas fento (10^{-15}) a micro (10^{-6}) de forma que para visualização se torna inviável, e a com uma conversão para base logarítma, é possível uma melhor análise do espectro dos campos elétricos presentes como mostrado na Figura 2.

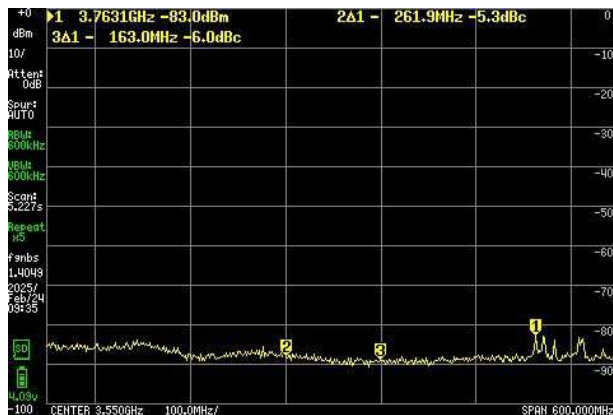


Fig. 2 – Exemplo de medição do Analisador de Espectro.

Os valores almejados na medição a partir do analisador de espectro captado com a antena tratam-se de uma faixa que varia de -90 a -30dBm, onde valores muito próximos de -90dBm são facilmente ocultados e indistinguíveis de ruído do próprio ambiente.

III. METODOLOGIA

A. Campanha de Medição

A Campanha de medição consistiu no mapeamento realizado dentro do alcance de 4 ERBs, em um segmento da região metropolitana com objetivo de estudar o campo espectral na faixa 3,5GHz do 5G fornecida pela operadora estudada. Após realizado o mapeamento, deu início ao processo de medição utilizando o analisador de espectro configurado na faixa de 3,5 à 3,6 GHz, frequência esta, definida pelo órgão regulamentador nacional Anatel.

As localizações das 4 ERBs foram obtidas no site da Anatel, conforme mostrado na Figura 3. Com base nessas informações, foram realizadas capturas da potência do sinal em pontos distribuídos entre essas estações, conforme ilustrado na Figura 4.



Fig. 3 – Localização das 4 ERBs da operadora na área de estudo [3].



Fig. 4 – Coleta de dados com analisador de espectro e antena

B. Softwares Utilizados

Para o escopo do trabalho, foram utilizadas ferramentas computacionais como o Google Earth Pro® versão 7.3.6.10201, empregado como ferramenta de mapeamento e planejamento para a definição dos locais de medição do nível de potência do sinal 5G. Diante disso, foi delimitado 70 pontos estratégicos dentro da região situada entre as três antenas previamente identificadas e citadas. Essa abordagem permitiu selecionar pontos que representassem diferentes condições de propagação do sinal, considerando a influência de obstáculos urbanos e a cobertura oferecida na faixa de 3.500 a 3.600 MHz, operada pela TIM.

Os pontos foram dispostos de uma forma a maximizar a área de medição além de facilitar a rota a ser percorrida durante essa etapa. As medições foram realizadas ao nível do solo, com cada ponto distanciados uns 160 metros aproximadamente, conforme ilustrado pela Fig. 5 onde os pontos redondos representam as amostras colhidas e os pinos amarelos a localização das antenas. É possível visualizar melhor a área que foi estudada dentro da cidade de Mossoró a partir da Figura 6.





Fig. 6 – Mapa da cidade de Mossoró com área de estudo delimitada em amarelo.

Para o processamento e georreferenciamento dos dados coletados, foi utilizado o *software* Surfer® versão 13, que permitiu a interpolação e visualização espacial das medições de nível de potência do sinal 5G obtidas a partir dos valores de RSSI. Com essa ferramenta foram gerados mapas de distribuição do sinal na área estudada, facilitando a análise da variação da intensidade do sinal em função da localização geográfica e da presença de obstáculos urbanos.

Os pontos referenciados foram organizados dentro de uma função de pasta que permitiu a importação de todos os pontos como um grupo para um arquivo no formato .kmz (*Keyhole Markup Language*). Esse arquivo armazenava os dados dos pontos, incluindo nome, posição e configuração.

Em seguida, o arquivo .kmz foi convertido para *plaintext* por meio da ferramenta GPSVisualizer, garantindo a extração das informações de forma acessível para análise.

Por fim, os dados foram plotados em um arquivo .xlsx, organizados em uma planilha, o que facilitou a medição dos pontos durante a campanha em campo.

C. Equipamentos Utilizados

Na Fig. 7 apresenta analisador de espectro em conjunto com uma antena do tipo dipolo que opera na faixa de 600MHz a 6GHz utilizados durante as medições. O analisador foi configurado com a frequência central de 3,550GHz como um *SPAN* de 300MHz, *RBW* (*Resolution Bandwidth*) de 500kHz. Foram empregados 3 marcadores, onde 2 deles seriam fixos para delimitar os limites da frequência de sinal transmitido (3,5 e 3,6GHz), e mais um que possibilitasse a visualização de cada ponto individualmente, como observado pela Figura 8. Desta forma foi possível visualizar outras faixas de frequências pertencentes ao domínio do 5G como de outras provedoras, permitindo comparar o efeito de somreamento dos respectivos sinais.



Fig. 7 – Analisador de espectro e Antena.

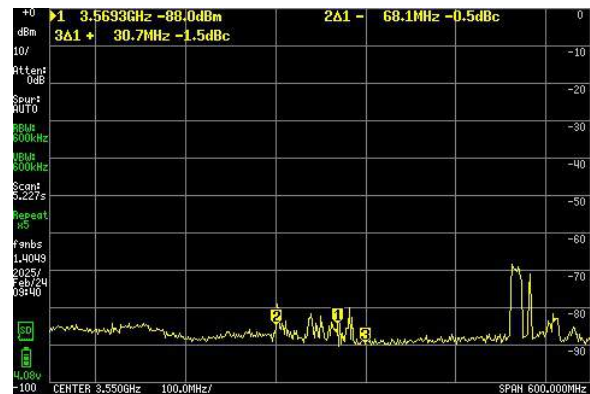


Fig. 8 – Leitura com o analisador de espectro no ponto 55.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig. 9 apresenta o histograma em verde com seus valores descritos pelo eixo à esquerda, representando a frequência das amostras obtidas. Em laranja, a função de densidade de massa com o seu respectivo eixo à direita. Por fim o eixo inferior representa os respectivos sinais de potência. Os valores apresentaram uma faixa compreendida entre -89,9 dBm a -72 dBm, onde os valores notáveis estavam acima de -84dBm, nas proximidades da antena (cerca de 1 km). Isso pode ser explicado devido ao somreamento, larga escala de área de estudo, e baixa resposta da antena mais ao norte, nos quais os resultados mais frequentes foram de regiões de baixa intensidade.

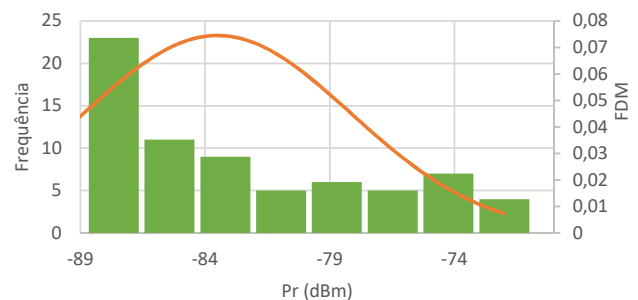


Fig. 9 – Histograma e FDM sobrepostos.

É observado na Fig. 9 a ocorrência de uma tendência maior à esquerda onde estão presentes sinais de baixo valor, que decrescem à medida que se distanciam das antenas e o número de obstáculos na região se somam intensificando a ocorrência de áreas de somreamento.

A Figura 10, gerada pelo método de Curvatura Mínima, mostra que grande parte da região apresenta valores próximos à faixa de -80 dBm. No entanto, devido à grande distância entre os pontos de medição e à baixa resolução dos dados, os valores intermediários acabam divergindo, o que gera um mapa com perfil homogêneo. Essa uniformidade reduz a variação entre os dados e pode não representar com precisão a distribuição real do sinal.

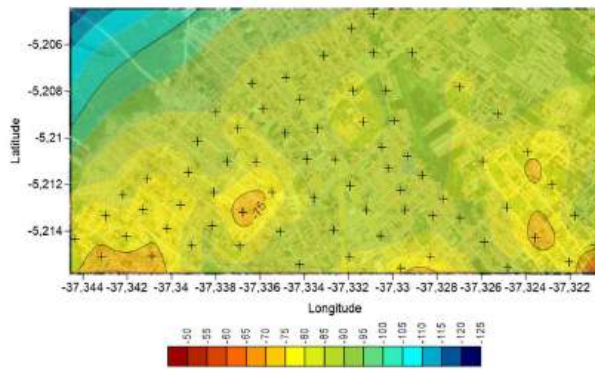


Fig. 10 – Interpolação por método de Curvatura Mínima

No tocante ao método do Inverso da Potência das Distâncias, há um comportamento no mapa em relação a distribuição do espectro do sinal. Contudo é possível notar quais os pontos foram realizados as amostras devido a distância entre eles e o comportamento de como o cálculo do método funciona. O método do inverso da potência das distâncias ao realizar a estimativa das regiões não medidas, toma por base a média ponderada dos valores vizinhos, de forma que para grandes variações, é perceptível a súbita mudança nos níveis como é mostrada na Figura 11.

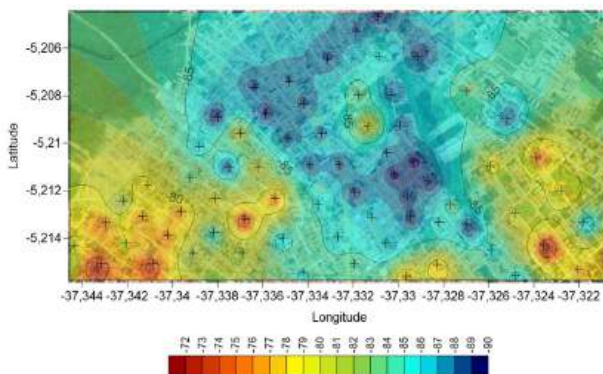
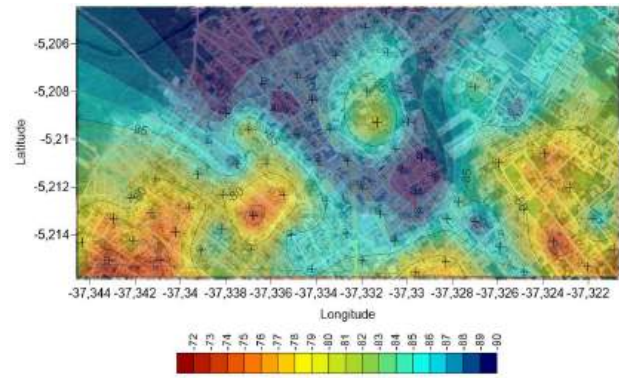


Fig. 11 – Interpolação por método de Inverso da potência das distâncias.

Para a Figura 12, têm-se a interpolação por método de *Kriging*, resultando numa interpolação mais suave apesar da distância entre os pontos medidos, cuja áreas intermediárias foram calculadas de forma a criar um mapeamento suave com um comportamento mais natural em relação à média dos valores obtidos no ato da medição. *Kriging* se destaca por considerar não apenas a distância entre os pontos, mas também a estrutura de correlação espacial dos dados, permitindo estimativas mais confiáveis. Em comparação, a Curvatura Mínima pode gerar superfícies excessivamente suavizadas, potencialmente distantes da realidade dos dados, enquanto a Interpolação Inversa das Distâncias, embora prática, pode apresentar transições abruptas em áreas com menor densidade de pontos. Assim, o *Kriging* demonstra um equilíbrio ideal entre suavidade e precisão, tornando-se uma escolha robusta para representar padrões espaciais complexos.

Fig. 12 – Interpolação por método de *Kriging*.

Com base nos resultados, em áreas mais abertas e dentro de uma distância de aproximadamente 600 metros, o sinal se manteve com intensidade notável em comparação com registros em pontos mais distantes, onde há maior presença de anteparos com prédios, árvores, características do meio, etc.

Além disso, foi observado uma baixa intensidade proveniente da antena mais ao norte. Durante a fase de medições, o primeiro ponto analisado situava-se a aproximadamente 100 metros de distância dessa antena. Devido à proximidade, esperava-se mesmo uma intensidade pouco significativa do sinal, pois em curtas distâncias, e a altura da antena, a intensidade do sinal na região diretamente abaixo da antena é muito baixa. No entanto, com o incremento gradual da distância, a mudança na intensidade do sinal não era perceptível, interpretado como se não houvesse antena próxima. Já nas demais 3 antenas, foi possível notar picos bem definidos dentro da faixa, anteriormente ilustrado na Figura 7, que representa uma das medições especificamente no ponto 55, localizado a quase 1 km e 500m das antenas situadas respectivamente a oeste e ao sul.

Faz-se necessário informar que existe uma antena mais ao norte onde a mesma está localizada em um bairro que apresenta uma demanda por sinal 5G menos significativa devido, à predominância de um público que ainda utiliza tecnologia 4G ou anterior. Além disso, o sinal puro 5G SA (*Standalone*) não está presente em nenhuma das 9 antenas listadas até o momento, ou seja, todas elas dividem o seu *core* com o LTE 4G de forma que afete tanto a qualidade do nível do sinal, quanto ao fato de ser capaz de transmitir o nível de sinal na frequência 3,55GHz.

V. CONCLUSÃO

O presente trabalho se propôs a analisar a intensidade dos níveis de potência de sinal na faixa de 5G em uma região metropolitana de Mossoró, avaliando a qualidade do sinal e sua adequação aos padrões estabelecidos por órgãos reguladores como a Anatel e o IEEE. Como principais resultados, foram obtidas curvas representativas da distribuição espacial da potência do sinal, utilizando métodos de interpolação e análise estatística. Os dados coletados indicaram que a intensidade de sinal apresenta regiões ausentes com um grande número de sombreamento, com isso dificultando a conectividade. Além disso, fatores como a interferência de obstáculos urbanos e a heterogeneidade da infraestrutura de telecomunicações podem influenciar a propagação do sinal, exigindo análises complementares.

Com a utilização da ferramenta computacional foi possível realizar simulações em ambientes eletromagnéticos e realizar a aquisição de informações sobre o espalhamento espectral da tecnologia 5G. Diante dessas informações conclui-se que o conhecimento adquirido através da otimização computacional dos cenários é de extrema relevância, uma vez que esse estudo possibilita que os projetos de propagação de sinal de tecnologia 5G comunicação sem fio sejam mais eficazes. Portanto, o presente trabalho demonstra que os valores estão em concordância com a literatura e com os padrões normativos, e diante dessas informações o ambiente simulado apresenta como uma ferramenta importante para pré-diagnóstico do estudo de propagação de sinal do sinal que está sendo entregue para os usuários.

A realização de campanhas de medição mais extensas, com instrumentação de maior precisão e técnicas de modelagem mais avançadas, poderá fornecer subsídios valiosos para profissionais da área, auxiliando na otimização da infraestrutura e no planejamento de futuras expansões da rede.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem também, a CAPES, UFERSA, GEPEAT, ao capítulo Estudantil MTTS – UFERSA, ao ramo

Estudantil IEEE UFERSA e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFERSA.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Cai, H. Zhang, H. Guo, G. Zhang and W. Xie, 5G Network Evolution and Dual-mode 5G Base Station. 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2020, pp. 283-287.
- [2] M. Shafi et al., 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221.
- [3] ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/> acesso: 28/01/2025
- [4] J. Constantino, “Redes 5G: predição e avaliação de área de cobertura outdoor”, 2023.
- [5] S. D. de Lima, “Análise e simulação dos aspectos de transmissão de sinais 5g em macro células em ambientes urbanos”, p. 97.
- [6] C. C. Pataca, “Predição de cobertura para rede 5g da zona económica especial de Luanda-Bengo”, FICHA TÉCNICA DO IVº CONGRESSO., 2021.
- [7] L. J. HEAP, A. D. *A review of Spatial interpolation methods for environmental scientists*. Camberra: Geoscience Australia, 2008
- [8] WirelessBRASIL – Portal Independente de Telecomunicações e Tecnologia. Disponível em: www.wirelessbrasil.org. acesso em: 22/02/2025
- [9] CASTELLANOS, Pedro Vladimir Gonzalez. Caracterização do canal de propagação banda larga na faixa UHF para aplicações de TV digital. 2009. Tese DOUTORADO– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

Dinamizando a Gestão de Ativos com Programação Visual: um estudo de caso na Prefeitura Municipal de Jucuturu-RN

Samuel Pereira, Arthur Souza, Flavius Gorgônio, Karliane Vale

Departamento de Computação e Tecnologia - CERES

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Caicó, RN, Brasil

samuel.gutemberg.069@ufrn.edu.br, arthur.souza, flavis.gorgonio, karliane.vale (@ufrn.br)

Resumo—A gestão preventiva de ativos em prefeituras de pequenas cidades enfrenta desafios devido à falta de soluções acessíveis, o que eleva os custos operacionais com reparos corretivos. No intuito de dinamizar e facilitar esse gerenciamento, o presente artigo detalha o desenvolvimento e a implementação de um aplicativo para controle de manutenção de aparelhos de ar-condicionado na Prefeitura Municipal de Jucuturu-RN. Nesse propósito, foi desenvolvido um aplicativo para centralizar a gestão de manutenções preventivas e corretivas, oferecendo controle e monitoramento dos equipamentos de climatização. O desenvolvimento e implementação seguiram uma abordagem metodológica iterativa, passando por levantamento de requisitos, modelagem, desenvolvimento e testes. Ao final do desenvolvimento, concluiu-se que o uso da programação visual via AppSheet, com sua facilidade de uso e rápida adaptação, mostrou-se eficaz para facilitar o desenvolvimento e a implantação da solução, melhorando a gestão dos ativos e proporcionando uma organização centralizada das informações. O aplicativo permitiu à prefeitura otimizar processos de gestão, reduzir custos e melhorar o controle sobre os ativos, garantindo um uso mais eficiente dos recursos limitados.

Index Terms—AppSheet. Gestão de ativos. Manutenção preventiva. Programação visual. Redução de custos

I. INTRODUÇÃO

O ambiente público depende cada vez mais de sistemas tecnológicos para otimizar a gestão de recursos e melhorar a prestação de serviços, como discutido por [11], o qual ressalta que a modernização tecnológica e a automação de processos podem elevar a eficiência, o controle e a transparência na administração estadual. O gerenciamento dos aparelhos de ar-condicionado em municípios do semiárido nordestino é altamente relevante, especialmente considerando que as temperaturas médias podem ultrapassar 30°C durante o ano, conforme os dados do Instituto Nacional de Meteorologia [10]. O funcionamento destes aparelhos é essencial para manter um ambiente de trabalho confortável, especialmente em repartições públicas com atendimento ao público, onde o conforto térmico é fundamental para a eficiência no atendimento. A manutenção desses equipamentos, contudo, enfrenta desafios operacionais significativos, principalmente devido à ausência de um sistema automatizado que permita um monitoramento eficaz [1]. Conforme relatam os autores em [9]: a falta de planejamento e controle adequado nas operações de manutenção pode gerar “gargalos operacionais, aumento de

custos e falhas frequentes nos serviços”. Esse cenário reflete a necessidade de uma abordagem sistemática e proativa na gestão da manutenção de equipamentos.

Tradicionalmente, a gestão de manutenção nas prefeituras brasileiras tem sido predominantemente reativa, ou seja, as ações de reparo só ocorrem após o surgimento de problemas, o que muitas vezes resulta em falhas prolongadas e interrupções no funcionamento dos aparelhos [5]. Isso impacta diretamente o desempenho das atividades e a qualidade dos serviços prestados à população. Uma forma de resolver o problema da gestão de manutenção de equipamentos é através da utilização de um sistema de informação, bem como da aplicação de metodologias como o 5S, que visa organizar o ambiente de trabalho e otimizar os processos de manutenção. A implementação do 5S contribui para um ambiente mais eficiente e limpo, aumentando a produtividade e a capacidade de resposta da equipe de manutenção [2], [4].

Esses princípios foram integrados no design do aplicativo, criado como forma de solucionar os problemas citados, para garantir que os processos fossem otimizados e que as informações fossem facilmente acessíveis pelos usuários. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo que utiliza a plataforma AppSheet para monitorar os processos de manutenção dos aparelhos de ar-condicionado da prefeitura, permitindo uma gestão centralizada e eficaz [5]. O AppSheet oferece recursos visuais intuitivos e uma rápida curva de aprendizado, facilitando o desenvolvimento do aplicativo mesmo sem conhecimentos profundos de programação [5]. Assim, ao utilizar-se uma plataforma de Programação Visual como a AppSheet busca-se investigar o potencial deste tipo de plataformas para atingir um ciclo rápido de desenvolvimento e implantação das aplicações.

Por fim, este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção I apresenta o contexto geral do tema. A Seção II aprofunda a apresentação do problema identificado no ambiente de estudo. A Seção III apresenta os trabalhos correlatos. A IV descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento do aplicativo, detalhando as ferramentas utilizadas, o levantamento de requisitos e o processo de validação. A V expõe os resultados obtidos com a implementação do sistema. Por fim, a Seção VI apresenta as conclusões e propõe sugestões para trabalhos futuros.

II. CONTEXTUALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO TEMA

A manutenção de aparelhos de ar-condicionado em ambientes públicos, como prefeituras, enfrenta grandes desafios devido à dispersão geográfica dos aparelhos e à falta de um sistema centralizado para monitorar o desempenho e o estado dos equipamentos [6]. No caso da Prefeitura de Jucurutu, cidade localizada no interior do Rio Grande do Norte, onde as temperaturas frequentemente são elevadas, os aparelhos de ar-condicionado são essenciais para garantir o funcionamento adequado das repartições públicas, assim como o atendimento à população, porém, com a falta desse tipo de sistema houveram muitos casos onde esses aparelhos apresentaram problemas, causando um gasto posterior maior do que deveriam, impactando no serviço à população e aos funcionários que tiveram que exercer suas funções nos ambientes totalmente fechados, comumente sem entrada e saída de ar adequados.

Sem um controle adequado da manutenção, muitas prefeituras recorrem a uma abordagem corretiva, onde as falhas são resolvidas apenas após a ocorrência de um problema significativo. Conforme os autores de [8], a manutenção reativa eleva os custos de operação e causa uma perda de produtividade considerável, especialmente em setores críticos, como o público. Esse cenário é agravado pela ausência de um sistema que registre as manutenções realizadas e que emita alertas sobre as futuras necessidades de manutenção.

A. Necessidade de uma Solução Automatizada

Com base nos estudos de [9], “o controle de manutenção precisa ser planejado de forma eficiente para evitar problemas de inatividade e aumento de custos”. A implementação de sistemas automatizados, como o aqui proposto, permite uma abordagem proativa. Isso inclui o registro sistemático das manutenções realizadas, além de alertas automáticos para futuras manutenções preventivas, contribuindo para a longevidade dos aparelhos e a otimização dos processos de gestão [1].

A falta de um banco de dados acessível e centralizado dificulta o controle adequado dos equipamentos e a realização de manutenções preventivas de forma organizada. Como consequência, serviços municipais essenciais, como escolas e hospitais, estão sujeitos a interrupções devido a falhas nos sistemas de climatização [5]. Essa necessidade levou à criação de uma solução automatizada, projetada especificamente para as demandas da Prefeitura de Jucurutu.

III. TRABALHOS CORRELATOS

A pesquisa em sistemas de desenvolvimento de aplicativos móveis e sua aplicação na manutenção de equipamentos tem sido um campo de estudo crescente, com diversos trabalhos abordando a eficácia e a eficiência dessas ferramentas. Os autores em [5] realizaram um estudo comparativo entre diferentes ferramentas de desenvolvimento de aplicativos móveis, incluindo AppSheet, Easy Easy Apps e Fábrica de Aplicativos. Os resultados mostraram que o AppSheet se destaca pela sua facilidade de uso e pela capacidade de criar aplicativos personalizados sem a necessidade de conhecimento avançado em

programação. Seguindo esses resultados, o AppSheet foi utilizado para desenvolver o sistema de controle de manutenção de ar condicionado na Prefeitura de Jucurutu-RN.

Outro estudo relevante é o de [1], que explorou a utilização de ferramentas de controle na manutenção de ar condicionado de uma universidade em São Luís-MA, destacando os benefícios da implementação de um sistema de monitoramento e manutenção preventiva na redução de custos operacionais e aumento da eficiência dos serviços prestados. Além disso, também enfatizou a importância da personalização dos aplicativos para atender às necessidades específicas dos usuários, um aspecto que foi crucial na adaptação do AppSheet para o contexto da Prefeitura de Jucurutu-RN.

Esses estudos forneceram uma base sólida para a escolha e a aplicação de ferramentas de desenvolvimento de aplicativos móveis em projetos de manutenção de equipamentos. A comparação das diferentes plataformas por [5] e a análise detalhada da implementação prática de um sistema de manutenção por [1] oferecem *insights* valiosos sobre as melhores práticas e os desafios enfrentados no desenvolvimento e na implementação dessas soluções tecnológicas.

IV. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

A metodologia empregada neste projeto foi estruturada para garantir que o desenvolvimento do aplicativo MANUTENÇÃO AR atendessem às necessidades reais da Prefeitura Municipal de Jucurutu-RN. O processo metodológico seguiu um modelo baseado em ciclos iterativos, envolvendo levantamento de requisitos, planejamento, desenvolvimento, testes e validação do sistema com os usuários finais.

A metodologia do 5S foi utilizada no contexto da implantação e utilização do novo sistema. Essa metodologia japonesa busca melhorar a eficiência e a qualidade da gestão através de cinco princípios: *Seiri* (utilização), *Seiton* (organização), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (padronização) e *Shitsuke* (disciplina). A escolha por seguir esses preceitos serviu para a experiência do usuário, idealização, criação e aprimoramento do aplicativo. Por exemplo, a coleta de dados e o mapeamento de processos refletem o princípio do *Seiton*, permitindo que os usuários organizem eficientemente os recursos e informações. A inclusão de *checklists* e procedimentos padronizados está alinhada com o *Seiketsu*, garantindo que todas as etapas de manutenção sejam seguidas corretamente. Além disso, a ênfase na limpeza e na eliminação de irregularidades, conforme o *Seiso*, é fundamental para evitar falhas nos equipamentos. Por fim, o aplicativo promove a disciplina (*Shitsuke*) ao facilitar o registro e a análise das manutenções realizadas, fomentando uma cultura de melhoria contínua na gestão de recursos.

A aplicação foi construída utilizando o AppSheet, uma plataforma de desenvolvimento visual que não requer conhecimentos profundos de programação, permitindo a criação rápida de formulários para cadastro de aparelhos, inserção de manutenções e emissão de alertas. A integração com o banco de dados nativo ASDB garantiu que as informações fossem organizadas e facilmente acessíveis pelos técnicos de

manutenção. A Google oferece 15GB de espaço para uma conta padrão gratuitamente e levando em conta que esses dados se baseiam em planilha, poucos MegaBytes são usados a depender das entradas de dados, permitindo assim um potencial de centenas de milhares de entradas de dados durante a alimentação do aplicativo.

A. Escolha da Plataforma

O AppSheet foi escolhido por sua capacidade de criar soluções personalizadas de forma rápida e eficiente, sem a necessidade de um extenso conhecimento de programação [5]. Esta plataforma também possui uma interface intuitiva, que facilita o desenvolvimento e a adaptação de funcionalidades conforme as necessidades específicas dos usuários. Entre suas principais vantagens estão: Integração com fontes de dados externas (Google Sheets, Excel, SQL); interface visual para criação de formulários e interfaces de usuário; funcionalidades de automação, como envio de notificações e geração de relatórios; flexibilidade para personalizar o fluxo de trabalho sem a necessidade de códigos complexos.

B. Levantamento de Requisitos e Planejamento

O levantamento de requisitos é uma etapa crucial no desenvolvimento de qualquer sistema. Para este projeto, as necessidades foram identificadas por meio de entrevistas com gestores da Prefeitura de Jucurutu que lidam diretamente com os aparelhos de ar-condicionado e a manutenção dos mesmos. A ausência de um sistema estruturado para registro das manutenções, a comunicação desorganizada entre as equipes e a falta de alertas automáticos para manutenções preventivas foram os principais problemas identificados, conforme apontado pela referência [4]. Durante esse levantamento, ficou evidente que a gestão de manutenção na prefeitura carecia de organização e controle, especialmente em termos de registros de serviços e notificações de manutenção preventiva. As principais dificuldades identificadas foram: a) Ausência de um sistema estruturado para registro das manutenções – A falta de uma ferramenta que centralizasse as informações sobre os aparelhos e seus respectivos históricos de manutenção dificultava o monitoramento eficiente e organizado, levando a falhas e manutenções corretivas mais frequentes do que as preventivas [4]; b) Comunicação desorganizada entre as equipes – Os técnicos de manutenção e os gestores não dispunham de um meio eficiente para compartilhar informações sobre os serviços realizados ou as manutenções futuras, o que resultava em perda de tempo e retrabalho. Com base nesses desafios, foram estabelecidos os principais requisitos funcionais para o desenvolvimento do aplicativo:

- **Cadastro detalhado dos aparelhos:** O sistema deveria registrar informações detalhadas de cada aparelho, como marca, modelo, BTUs, localização e data da última manutenção.
- **Registro de manutenções realizadas:** O aplicativo deveria permitir o registro de todas as manutenções realizadas nos aparelhos, incluindo o tipo de serviço, a data e o responsável pela manutenção.

- **Emissão de alertas automáticos:** A emissão de alertas automáticos dentro do próprio aplicativo para futuras manutenções preventivas era uma das funcionalidades mais requisitadas pelos gestores da prefeitura.

C. Desenvolvimento, validações e testes

A versão inicial do aplicativo foi desenvolvida de forma muito rápida, com funcionalidades básicas de cadastro e visualização de equipamentos. Após a entrega inicial, iniciou-se um processo de ajustes e validações diárias junto a gestores e estagiários da prefeitura, os quais testaram o sistema alimentando-o com dados reais. Com base nos *feedbacks* recebidos, novas funcionalidades foram incorporadas e melhorias de usabilidade foram feitas. Este ciclo de testes e validações durou aproximadamente uma semana, resultando na versão final do aplicativo pronta para utilização prática.

O desenvolvimento do aplicativo seguiu um ciclo iterativo, com base nos princípios da metodologia ágil **Scrum**, escolhida devido à sua flexibilidade e eficácia em projetos que exigem validações contínuas. As funcionalidades foram planejadas e implementadas em *sprints* curtos, permitindo a entrega de incrementos funcionais aos usuários finais regularmente. Assim, as funcionalidades foram implementadas em pequenos incrementos e validadas com os usuários finais a cada etapa. O *feedback* dos usuários permitiu ajustes no design e nas funcionalidades, assegurando que o sistema atendesse às necessidades operacionais.

A AppSheet tem integração com bancos de dados como o Google Sheets, oferecendo uma solução de baixo custo e altamente acessível para a prefeitura. Durante os testes de usabilidade, os técnicos de manutenção e estagiários utilizaram o sistema para cadastrar aparelhos, registrar manutenções e simular alertas. Esses testes ajudaram a validar a eficácia da plataforma e a identificar melhorias necessárias no fluxo de trabalho. Como resultado, o aplicativo facilitou o acesso às informações e garantiu que todas as manutenções fossem realizadas conforme o cronograma estipulado. A implantação do aplicativo foi acompanhada de sessões de treinamento, onde os técnicos de manutenção, gestores e estagiários foram capacitados para utilizar todas as funcionalidades do sistema. Foram fornecidas sessões práticas para garantir a completa adoção da solução, tudo isso conforme o fluxo de trabalho e o aprimoramento do aplicativo se deu conforme o *feedback* constante dos usuários.

V. RESULTADOS

A implementação do aplicativo na Prefeitura de Jucurutu resultou em melhorias significativas na gestão dos aparelhos de ar-condicionado. O sistema permitiu a centralização de todas as informações, o que facilitou o monitoramento e o planejamento das manutenções preventivas e corretivas. Os alertas automáticos foram bem recebidos pelos técnicos, que relataram uma maior organização e eficiência no planejamento das manutenções. Além disso, o sistema proporcionou uma visão clara das manutenções futuras, evitando falhas inesp-

Tabela I
ESTRUTURA E FUNCIONALIDADES DA TELA DE CADASTROS

Campos e Opções	Descrição
Marca e Modelo	Especificam a marca e o modelo do aparelho, facilitando sua identificação e gestão no sistema.
Capacidade (BTUs)	Registrada a potência em BTUs, ajudando a classificar os aparelhos e a planejar intervenções adequadas para cada caso.
Setor e Local de Instalação	Permite que o usuário registre o local específico onde o aparelho está instalado, como “Hospital”, “Escola”, ou “Prefeitura”. Além disso, é possível especificar o ambiente, como “sala de espera”, “administração” ou “recepção”.
Data da Última Manutenção	Registro da última data em que foi realizada a manutenção, essencial para o acompanhamento do histórico e controle de atividades.
Data da Próxima Manutenção	Determina automaticamente, com base no intervalo estipulado, a data da próxima manutenção preventiva, o que facilita a programação de atividades e o uso do sistema de alertas.
Tipo de Serviço Realizado	O usuário escolhe entre opções como “Instalação”, “Manutenção”, “Limpeza”, “Troca de Peça” ou “Desinstalação”, permitindo uma visão rápida sobre o que foi feito.
Observações	Permite incluir observações detalhadas, como peças trocadas, condições do aparelho, e recomendações para futuras manutenções.
Salvar Cadastro	Uma vez preenchidos todos os dados, o usuário clica em salvar, o que registra o aparelho no sistema. A partir de então, ele é exibido na tela inicial com todas as informações relevantes.
Edição de Registros	Para atualizações, o usuário pode acessar essa tela e alterar os dados sempre que uma nova manutenção for realizada ou quando houver uma mudança na situação do aparelho.

Tabela II
FILTROS DE PESQUISA PARA SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO

Filtros	Descrição
Por Serviço	Permite aos usuários filtrar as manutenções de acordo com o tipo de serviço realizado, como instalação, troca de peças, limpeza, entre outros. Facilita a visualização de serviços específicos e o controle de manutenções semelhantes em diversos aparelhos.
Por Data de Realização	Permite filtrar as manutenções concluídas com base na data em que foram realizadas. Útil para acessar rapidamente manutenções recentes, verificar a regularidade dos serviços e monitorar a frequência das intervenções.
Por Data Prevista	Permite visualizar manutenções programadas para um período específico. Ajuda na organização das atividades preventivas, possibilitando que a equipe visualize e priorize as manutenções futuras de acordo com a proximidade da data prevista.
Por Observação	Permite buscar informações adicionais registradas nas observações de cada manutenção, como peças trocadas, recomendações de técnicos ou particularidades do serviço. Facilita o acompanhamento detalhado de serviços que exigem atenção especial ou possuem informações adicionais.
Por Identificação do Aparelho	Permite buscar manutenções vinculadas a um aparelho específico, identificado por código, marca ou número de série. Especialmente útil para acessar rapidamente o histórico de um aparelho e verificar o estado de manutenção de equipamentos individuais.

radas que anteriormente interrompiam o funcionamento dos equipamentos em setores críticos da prefeitura.

A. Design do Aplicativo

Todo o design da interface do aplicativo MANUTENCAO AR foi estruturado para ser o mais simples e eficiente possível, alinhado aos princípios do 5S. As Figuras 1, 2, 3 e 4 exemplificam algumas das telas mais utilizadas do aplicativo, enquanto que a Tabela I apresenta os campos de informações para o cadastro dos aparelhos e as Tabelas II e III campos de filtros e configuração utilizados no aplicativo e oferecidos no desenvolvimento com AppSheet.

A Figura 1 corresponde à tela de início do aplicativo MANUTENÇÃO AR e foi projetada para oferecer uma visão clara e organizada dos aparelhos de ar condicionado e das manutenções programadas. Assim que o usuário acessa o

aplicativo, a tela inicial exibe um painel principal, que lista todos os equipamentos cadastrados, categorizados por setores específicos, como “Hospital”, “Escola”, e “Prefeitura”, facilitando a localização dos aparelhos conforme a divisão organizacional da prefeitura de Jucurutu. Na parte superior da tela, há um indicador de alertas que mostra um número sobre o ícone de notificações, representando o total de manutenções pendentes. Esse número serve como um lembrete visual, indicando ao usuário a necessidade de vistorias ou intervenções em breve. Cada aparelho listado na tela inicial traz informações-chave, incluindo: marca e modelo do aparelho, localização, capacidade (BTUs), data da última manutenção e data da próxima manutenção. Além disso, o usuário tem a opção de acessar cada aparelho para ver mais detalhes ou iniciar um novo registro de manutenção.

A Figura 2 corresponde à tela de Filtro de Exibição de Lista no aplicativo MANUTENÇÃO AR e permite que o usuário selecione critérios específicos para refinar a visualização dos

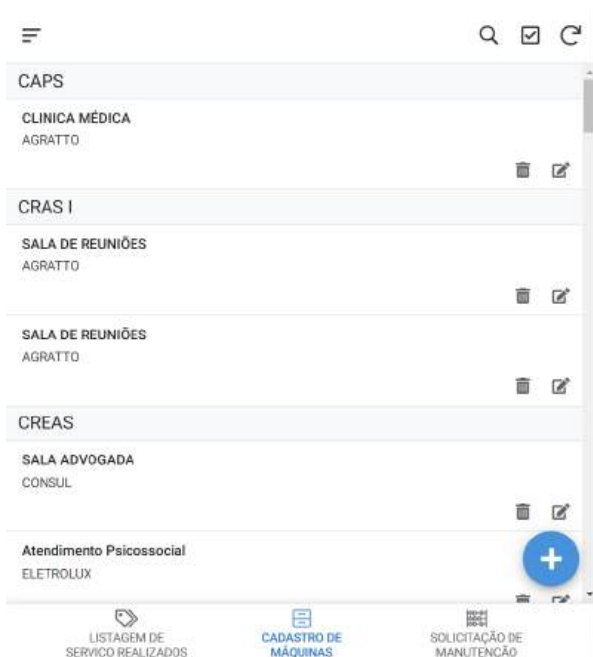


Figura 1. Tela inicial do aplicativo MANUTENÇÃO AR

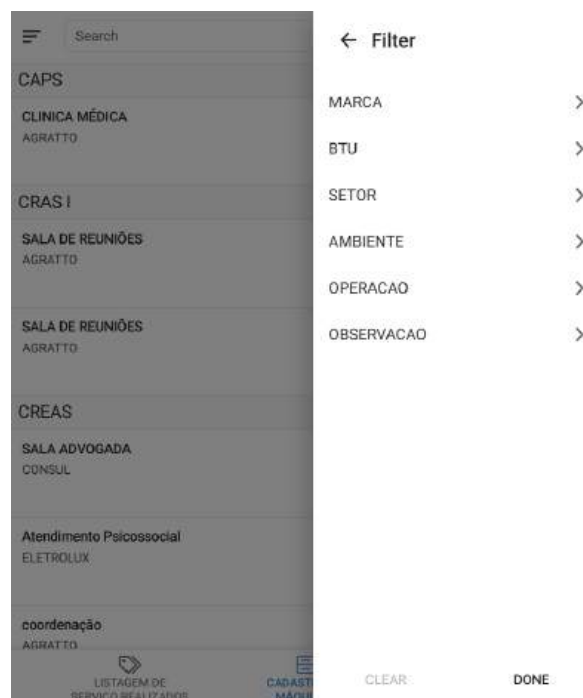


Figura 2. Filtros

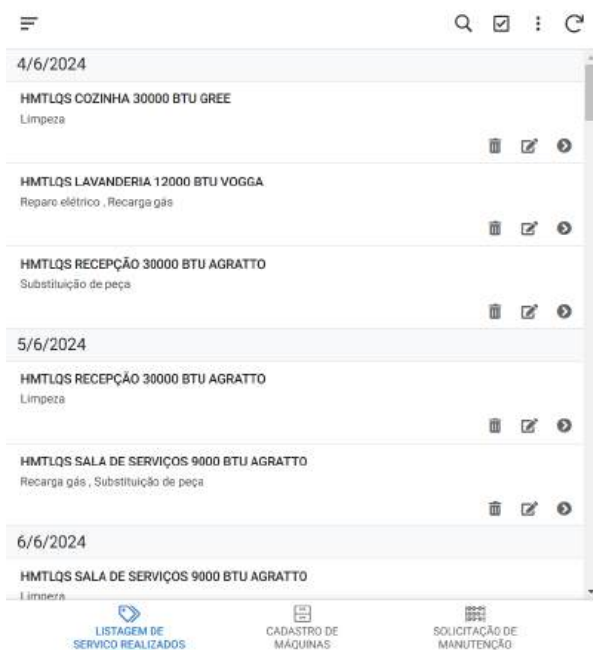


Figura 3. Serviços Realizados

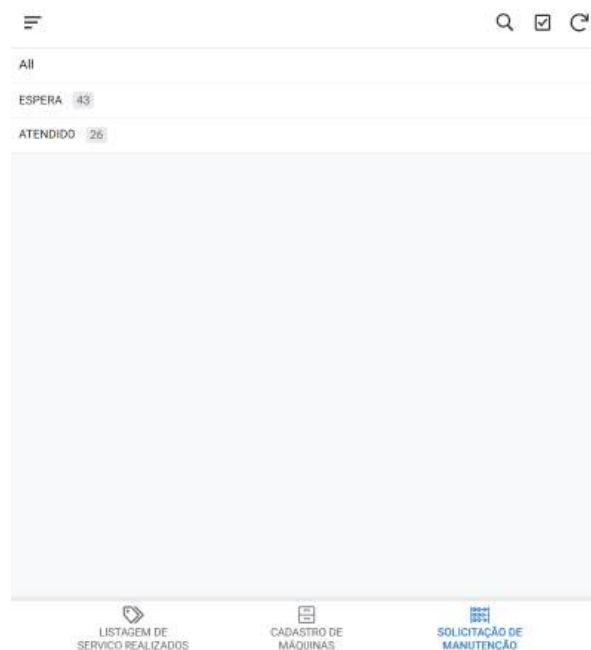


Figura 4. Solicitação de Manutenção - avisos

dados de manutenção, tornando mais fácil localizar e analisar informações relevantes para a gestão dos aparelhos de ar condicionado. Este filtro é essencial para gerenciar eficientemente o histórico e o planejamento de manutenções, ajudando técnicos e gestores a acompanhar de perto cada detalhe dos serviços realizados e programados.

A Figura 3 corresponde à tela de Serviços Realizados no aplicativo MANUTENÇÃO AR, tendo sido projetada para exibir o histórico completo das manutenções concluídas em todos os aparelhos cadastrados. Esta funcionalidade oferece uma visão detalhada de todos os serviços de manutenção já executados, com informações abrangentes que ajudam a monitorar o desempenho e o histórico de cada equipamento. A tela exibe uma lista organizada de todos os serviços de manutenção concluídos, ordenados por data ou setor, conforme necessário. Essa listagem permite que os gestores e técnicos consultem rapidamente o histórico de intervenções para qualquer aparelho cadastrado no sistema.

A Figura 4 corresponde à tela de Solicitação de Manutenção - Avisos no aplicativo MANUTENÇÃO AR organiza as informações de manutenções pendentes e realizadas em três abas distintas: "Próximas", "Espera" e "Atendidos". Esta divisão facilita o monitoramento do status de cada solicitação de manutenção, permitindo uma visão clara e organizada das necessidades de intervenção em tempo real, ao chegar na data prevista o aplicativo oferece uma opção de enviar uma notificação ao usuário sobre a realização da manutenção.

Tabela III
FUNCIONALIDADES DA TELA DE CONFIGURAÇÕES

Funcionalidade	Descrição
Conta do Google Ativa	Exibe o endereço da conta do Google atualmente conectada ao aplicativo. Facilita a identificação da conta ativa, permitindo ao usuário confirmar se está utilizando o perfil correto para acessar e gerenciar os dados de manutenção.
Opção de Logout	Oferece a opção de logout, permitindo que o usuário saia da sessão atual. Essencial para manter a segurança e a privacidade das informações, especialmente em dispositivos compartilhados.
Opção de Feedback	Permite que o usuário envie sugestões, comentários ou relate problemas diretamente aos desenvolvedores do aplicativo. Valiosa para aprimorar o aplicativo, permitindo que o usuário contribua com melhorias e sinalize pontos que podem ser otimizados.
Sobre o Aplicativo	Exibe o ícone do "MANUTENÇÃO AR" e o nome completo do aplicativo. Ajuda na identificação visual do aplicativo, fortalecendo o <i>branding</i> e oferecendo ao usuário uma confirmação sobre o software que está utilizando.

VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A adoção de um sistema de informação baseado na gestão de manutenção utilizando o AppSheet mostrou-se uma solução eficaz para a Prefeitura de Jucurutu, permitindo a organização centralizada dos processos de manutenção e o

controle dos aparelhos de ar-condicionado. O desenvolvimento e implementação do aplicativo de controle de manutenção proporcionou uma solução que atendeu às necessidades operacionais da gestão pública conforme a utilização e a aprovação dos usuários (técnicos, gestores e estagiários), os quais emitiram espontaneamente a sua opinião sobre o aplicativo quanto ao quesito de facilidade de uso e eficiência.

A utilização do AppSheet como plataforma de desenvolvimento visual permitiu que o sistema fosse implementado de forma rápida e eficiente, proporcionando uma melhor organização dos processos de manutenção. Consequentemente, o sucesso no uso da AppSheet indica que o uso de ferramentas de Programação Visual podem impulsionar e dinamizar a gestão pública devido principalmente ao rápido ciclo de desenvolvimento, impactando em diminuição de custos operacionais para as prefeituras.

No futuro, espera-se que o sistema possa ser aperfeiçoado e que novas funcionalidades possam ser adicionadas como por exemplo, uma tela de *Dashboard*, alteração de tema do aplicativo para cores escuras assim como que a proposta seja expandido para outras áreas da gestão pública não se limitando somente a aparelhos de ar-condicionado, como qualquer tipo de aparelho, ou até mesmo qualquer tipo de cadastro, sejam eles de pessoas ou de processos, otimizando ainda mais os processos operacionais e garantindo a eficiência dos serviços prestados à população.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. M. Cutrim, L. S. Figueiredo, and K. V. B. Conceição, "Utilização de ferramentas de controle na manutenção de ar-condicionado: estudo de caso no setor de manutenção de uma Universidade de São Luís-MA," in *IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, Fortaleza, CE, 2019.
- [2] S. Fujita, "5s activities change the working environment," *Kenshu*, vol. 153, pp. 6–9, 1999.
- [3] A. C. Gil, *Métodos e técnicas de pesquisa social*, 7th ed. São Paulo, Brasil: Atlas, 2019.
- [4] C. Nunes and I. B. S. Alves, "Implantação do programa 5S no departamento pessoal de uma empresa de segurança privada (estudo de caso)," in *Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [5] A. G. Pereira, J. C. Cunha, R. J. Siqueira, and C. D. C. Monteiro, "Estudo comparativo de ferramentas para facilitar o desenvolvimento de aplicativos móveis," in *Anais do IX Congresso Sulcomp*, Porto Alegre, RS, 2018.
- [6] H. Ribeiro, *A base para a qualidade total: 5S - um roteiro para uma implantação bem-sucedida*, 1st ed. Belo Horizonte, Brasil: Quality House, 1994.
- [7] G. F. S. Silva and L. H. D. S. Silva, "Otimização de processos de manutenção por meio da utilização de ferramentas tecnológicas," B.Sc. thesis, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2021.
- [8] N. Slack, S. Chambers, and R. Johnston, *Administração da produção*, 2nd ed. São Paulo, Brasil: Atlas, 2009.
- [9] H. G. Xenos, *Gerenciando a manutenção produtiva*, 1st ed. Belo Horizonte, Brasil: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- [10] Instituto Nacional de Meteorologia, "Climatologia: Dados Climatológicos," 2024. [Online]. Available: <https://www.inmet.gov.br>. [Accessed: 10-Jul-2024].
- [11] Deloitte, "Gestão Pública na Era Digital," 2024. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com>. [Accessed: 10-Jul-2024].

Modelagem Computacional na Avaliação da Exposição de Campos Eletromagnéticos Provenientes de Sistemas Elétricos de Potência, na Faixa de 60Hz

Caiky Breno Santiago Chaves
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
caiky.chaves@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionisio de Andrade
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Elison Wediley dos Reis Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
elison.silva@alunos.ufersa.edu.br

Pedro Arthur Freitas da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Centro de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró, Brasil
pedro.silva67350@alunos.ufersa.edu.br

Nickson Saymon de Oliveira Lopes
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró, Brasil
nicksonsaymon@gmail.com

Resumo— O crescimento da demanda por energia elétrica tem levado à expansão do sistema elétrico de potência, resultando em uma maior exposição da população a campos elétricos e magnéticos de baixa frequência. O objetivo deste trabalho é avaliar a intensidade dos campos eletromagnéticos gerados pelas linhas de transmissão de 69 kV que operam em 60 Hz e, atendem a subestação de Belo Horizonte, em Mossoró. Neste trabalho, foram utilizadas medições *in loco*, seguindo as diretrizes da norma NBR 25415, e métodos de interpolação espacial para geração de mapas estimativos.

Palavras-Chave— Campos Eletromagnéticos, Segurança Energética, Linhas de Transmissão, Interpolação Espacial.

Abstract— The increasing demand for electricity has led to the expansion of the power system, resulting in greater public exposure to low-frequency electric and magnetic fields. The objective of this study is to assess the intensity of electromagnetic fields generated by 69 kV transmission lines operating at 60 Hz, which supply the Belo Horizonte substation in Mossoró. In this study, on-site measurements were conducted following the guidelines of the NBR 25415 standard, along with spatial interpolation methods to generate estimation maps.

Keywords— Electromagnetic Fields, Energy Security, Transmission Lines, Spatial Interpolation.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil teve um aumento intensivo na demanda de energia por conta dos avanços tecnológicos e do aumento da população. Com isso, para garantir o abastecimento energético ao público, se fez necessário a implementação de sistemas adequados de geração e distribuição. Nesse contexto, a construção de subestações, usinas geradoras e linhas de transmissão tornaram-se indispensáveis e, normalmente, são encontradas nas proximidades de bairros residenciais nas cidades [1,2].

No entanto, essas instalações geram campos elétricos e magnéticos que expõe a população a certos níveis de intensidade. Atualmente, existem estudos que mostram uma pequena relação entre a exposição prolongada de campos magnéticos de baixa frequência com um aumento na

probabilidade de contração da leucemia infantil. Porém, não há nenhum indício dessa doença com a exposição ao campo elétrico [3,4].

Por este motivo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em 2010 a REN nº 318, cujo seu escopo é reconhecer os valores limites de exposição de campos eletromagnéticos com base nas pesquisas e valores delimitados anteriormente pela Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP). Para instalações de 60 Hz, os níveis limites de campo elétrico e campo magnético utilizados no Brasil para a população ocupacional foram de, respectivamente, 8,33 kV/m e 1000µT, e para a população geral esses valores foram de 4,17 kV/m e 200µT [5,6,7].

Estudos apontam que o uso de *softwares* capazes de realizar modelagens computacionais através de métodos de interpolação espacial, auxiliam no mapeamento local dos níveis de intensidade de campos elétricos e magnéticos ao qual os seres humanos são expostos. Com isso, é possível verificar o comportamento dos campos levando em consideração fatores ambientais [8].

Este trabalho apresenta uma pesquisa realizada no estado do Rio Grande do Norte (RN), na cidade de Mossoró, acerca da exposição de campos eletromagnéticos na faixa de 60 Hz, provenientes das linhas de transmissão que compõe o sistema elétrico de potência. As medições de campo foram realizadas nas proximidades da subestação de Belo Horizonte, seguindo os parâmetros de medição dispostos na NBR 25415. Após a coleta de dados, foi realizada uma análise estatística através de métodos estimativos por intermédio de um *software* capaz de gerar gráficos através de técnicas de interpolação espacial e geoestatísticos. Com isso, este trabalho tem como escopo determinar se os níveis de campos eletromagnéticos da linha de transmissão de baixa tensão estão de acordo com as normas regulamentadoras, por meio da modelagem computacional.

II. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa, com abordagem experimental. A metodologia empregada envolve medições *in loco* dos campos elétricos e magnéticos provenientes das linhas de transmissão da subestação de Belo Horizonte, em Mossoró/RN, seguindo as diretrizes da norma NBR 25415. Os dados coletados foram analisados por meio de métodos estatísticos e interpolação espacial, visando mapear a distribuição das intensidades dos campos eletromagnéticos no meio de estudo.

A. Definição do meio de estudo

O sistema elétrico de potência (SEP) é composto por quatro etapas fundamentais, geração, transmissão, distribuição e consumo. Em meio a esses processos, a subestação desempenha um papel fundamental no SEP, pois são responsáveis pela transformação dos níveis de tensão para atingir a eficiência energética para o fornecimento adequado ao consumidor por meio das linhas de distribuição. Considerando a relevância dessas instalações na estrutura do SEP, sugeriu-se as linhas de transmissão de 69 kV que atendem a subestação de Belo Horizonte, na cidade de Mossoró, como local de estudo, visualizado na Figura 1, onde serão avaliadas as intensidades dos campos eletromagnéticos na faixa dos 60 Hz.



Fig. 1. 77ª Subestação de Mossoró localizada no bairro Belo Horizonte. Fonte: Site Neoenergia.

A 77ª subestação de Mossoró é responsável pelo atendimento de 300 mil moradores, operando com uma linha de transmissão de alta tensão (69 kV) com três quilômetros de extensão, parte dos quais atravessam o perímetro urbano da cidade. Diante deste contexto, este estudo foi planejado com o objetivo de avaliar as intensidades dos campos eletromagnéticos na faixa dos 60 Hz ao redor dessas linhas de transmissão. Ao final, os dados obtidos serão comparados com os valores limite reconhecidos pela ANEEL, afim de avaliar possíveis impactos e a conformidade com as normas vigentes.

B. Campanhas de medição

Para uma análise da área em estudo, foi necessário adotar as técnicas dispostas na NBR 25415 que padroniza vários métodos de medição, como também delimita níveis de referência para exposição de campos elétricos e magnéticos. O processo foi dividido em três etapas. Na primeira, realizou-se um estudo no local para quantificar os pontos necessários para efetuar as medições, afim de garantir a cobertura a toda área de interesse.

Na segunda etapa, foi-se utilizado de técnicas de georreferenciamento para obter as coordenadas de latitude e longitude desses pontos. Na terceira e última etapa, as medições de campo elétrico e magnético foram realizadas conforme os métodos dispostos na norma vigente, utilizando um dispositivo gaussiano, que permite captar a intensidade dos campos e exibir esses valores no seu *display*.

Ao final das etapas de medição, criou-se uma planilha contendo os dados das coordenadas dos pontos, e os valores de intensidade dos campos elétricos e magnéticos. Por meio disso, houve a exportação desses dados para o software *Google Earth PRO* para geração de uma imagem via satélite, como ilustrado na Figura 2. Os pontos em azul, verde e rosa espalhados sobre a figura, correspondem aos pontos estudados ao decorrer da linha de alta tensão. Foram estabelecidos 43 pontos na área em estudo, distribuídos em perfis transversais à linha de transmissão, com um espaçamento de 3 metros entre cada ponto de medição, em conformidade com a NBR 25415. É de suma importância destacar que esses pontos abrangem áreas com diferentes características, como vegetação, desníveis de solo, residências e vias de alto fluxo, o que em alguns locais, restringiu o comprimento total das medições.

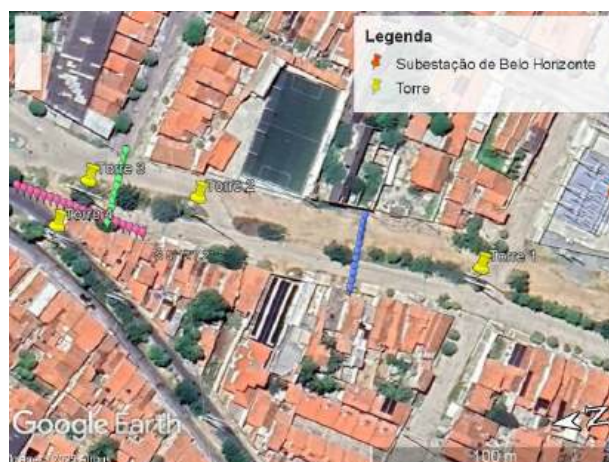


Fig. 2. Mapa de localização da região em análise. Fonte: *Google Earth Pro*.

Para a realização da coleta dos dados geográficos, cada ponto especificado na planilha foi localizado com a utilização de um *smartphone* com GPS, com auxílio de uma ferramenta de inteligência artificial para maior precisão na captura das coordenadas. Em cada um desses pontos, foi posicionado o medidor de campo eletromagnético TM-190 TENMARS, visualizado na Figura 3, o dispositivo conta com um sensor de campo elétrico e magnético capaz de operar na faixa de frequência de 50 Hz à 60 Hz. O aparelho foi fixado a uma altura de 1,5 metros com auxílio de um tripé, demonstrado na Figura 4, garantindo seu isolamento em relação ao chão. Para assegurar medições de campo precisas e seguras, o sensor eletromagnético do TM-190 foi alinhado em relação ao objeto de estudo, de modo a possuir a menor distância entre o condutor e o solo. Além disso, o dispositivo requer um curto intervalo de tempo para estabilização dos valores medidos. Após a estabilização, os valores dos campos foram registrados e associados as suas coordenadas geográficas, sendo

posteriormente armazenados em uma planilha para posterior acesso computacional.



Fig. 3. Medidor de campo eletromagnético TM-190 TENMARS. Fonte: Site TenMars



Fig. 4. Tripé utilizado para isolar o dispositivo da terra. Fonte: Amazon

C. Interpolação Espacial

Para análise estatística e modelagem dos mapas de contorno por meio de métodos de interpolação espacial foi-se utilizado o *software Surfer®*, versão 13, através dos dados da intensidade dos campos e suas coordenadas geográficas. Os valores foram organizados em planilha e importados no programa em forma de *Grid Data*. Após isso, o *software* gerou matrizes de interpolação para os métodos selecionados, no caso do estudo, foi escolhido o método que apresentou menor percentual de erro estimativo através da técnica de validação cruzada.

Além disso, a imagem via satélite da área de estudo foi formatada afim de garantir que os pontos estejam precisamente alinhados com as coordenadas das medições, permitindo sua integração ao *software*. Em seguida, ocorreu-se a sobreposição da imagem ao gráfico gerado pelo *Surfer®* 13, assegurando a precisão da análise.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 5 e 6 é apresentado o histograma dos valores obtidos a partir das medições de campo. As intensidades de campo elétrico apresentaram uma variação de 0,158 kV/m a 0,002 kV/m. Já o campo magnético, apresentou-se variações entre 0,02μT a 0,04μT. Comparando-se esses resultados com os limites estabelecidos pela ANEEL, verifica-se que as intensidades medidas estão consideravelmente abaixo dos limites de exposição recomendados. Para a população em geral, o limite de exposição para o campo elétrico é de

4,17kV/m e para o campo magnético é de 200μT; já para a população ocupacional, esses valores são de 8,33kV/m e 1000μT, respectivamente. Vale salientar que, os picos de intensidade de campo elétrico e magnético foram obtidos no momento de menor distância entre o condutor e o solo, já os demais valores foram diminuindo à medida que o sensor de campo eletromagnético se afastava do objeto de estudo.

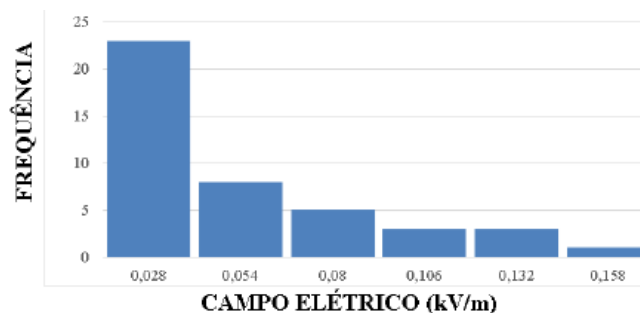


Fig. 5. Histograma das medições em campo elétrico.

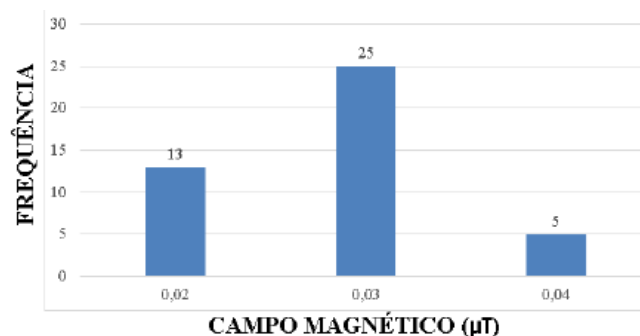


Fig. 6. Histograma das medições de campo magnético

Nas tabelas I e II são apresentados os índices de Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Erro Médio Absoluto (MAE) que foram gerados através do método de validação cruzada no *Surfer®* para os campos elétricos e magnéticos. O valor RMSE é calculado através da raiz quadrada da média dos quadrados dos erros, já o valor MAE é calculado por meio do erro absoluto médio. Esses índices são usados como métricas para avaliar a precisão de modelos, sendo que, quanto menor seus valores, mais preciso será o modelo gerado.

Os métodos locais de interpolação espacial aplicados ao método de validação cruzada foram Triangulação com Interpolação Linear (TLI), Curvatura Mínima (CM). Já os métodos geoestatísticos aplicados foram a Krigagem Ordinária Linear (KO-L), Krigagem Ordinária Gaussiana (KO-G), Krigagem Ordinária Esférica (KO-Es) e Krigagem Ordinária Exponencial (KO-Ex).

Através dos dados disponibilizados nas tabelas I e II, é possível observar que para o campo elétrico, o método que apresentam os menores índices é a Krigagem Ordinária Esférica, com valores de -0,00105064 kV/m para o Erro Médio Absoluto e 0,023473 kV/m para a Raiz do Erro Quadrático Médio. Já para o campo magnético, o método com maior precisão foi a Curvatura Mínima, apresentando dados de

-0,000062493 μT de Erro Médio Absoluto e para a Raiz do Erro Quadrático Médio obteve-se 0,00623051 μT .

TABELA I. Índices MAE e RMSE do campo elétrico para diferentes métodos.

Método	Campo Elétrico (kV/m)	
	Erro Médio Absoluto (MAE)	Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)
TLI	0,00186240247105	0,0193146242734
CM	-0,00386366428247	0,0252563689865
KO-L	-0,00105064641348	0,023473533205
KO-G	0,00169267307111	0,0450552804656
KO-Es	-0,00105064666046	0,0234735329394
KO-Ex	-0,00105062824147	0,0234734932997

TABELA II. Índices MAE e RMSE do campo magnético para diferentes métodos.

Método	Campo Magnético (μT)	
	Erro Médio Absoluto (MAE)	Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)
TLI	-0,000290645528419	0,00547627786546
CM	-6,2493091578e-005	0,00623051946856
KO-L	0,000288236095526	0,00576841800858
KO-G	0,000272238117249	0,00661872209107
KO-Es	0,000288235866887	0,0057684179651
KO-Ex	0,000288233299431	0,00576841351692

As Figuras 7 e 8 apresentam o mapeamento estimativo dos campos elétrico e magnético na área de estudo, utilizando os métodos de maior precisão discutidos anteriormente. Nessas representações, é possível visualizar os diferentes níveis de intensidade em pontos específicos, georreferenciados por latitude e longitude no sistema de coordenadas decimais.

O método da Krigagem Ordinária Esférica aplicado ao campo elétrico indicou os maiores valores de intensidade de campo no ponto de menor distância entre o condutor e o solo, com valores próximos a 0,16 kV/m, o que é coerente com a realidade esperada. Na região central, onde foi realizada a segunda medição, observou-se uma redução nos níveis de campo elétrico, atribuída pela presença significativa de árvores, que interferiram na captura precisa desses valores.

Diante a isso, os valores dos campos elétricos obtidos por meio da modelagem computacional estão 98,08% abaixo do limite estabelecido pela ANEEL para a população ocupacional (8,33 kV/m) e, 96,16% abaixo para a população geral (4,17 kV/m).

O método da Curvatura Mínima usada no campo magnético apresenta também uma concentração maior nas áreas de menor distância entre o condutor e o solo, apresentando picos de até 0,04 μT , encontrando-se de acordo com a teoria. Esses níveis estão dentro do limite estabelecido pela ANEEL, encontrando-se 99,98% abaixo para a população geral (200 μT) e, 99,996% abaixo para a população ocupacional (1000 μT).

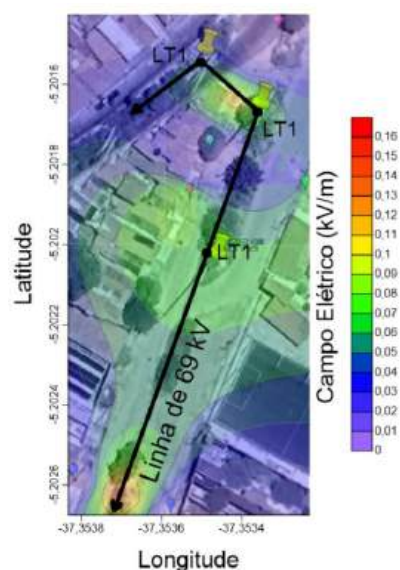


Fig. 7. Mapeamento local do Campo Elétrico utilizando o método de Krigagem Ordinária Esférica.

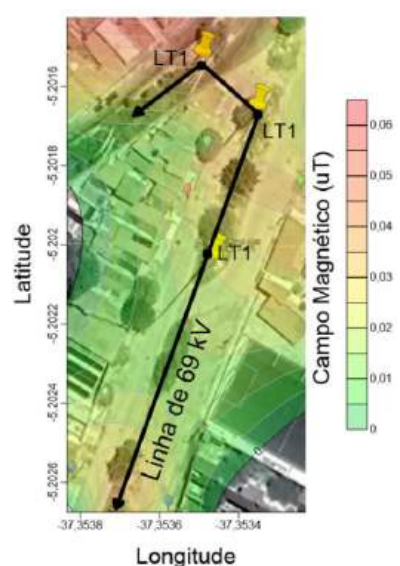


Fig. 8. Mapeamento local do campo magnético utilizando o método de Curvatura Mínima

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou os níveis de exposição a campos elétricos e magnéticos advindas das linhas de transmissão de 69 kV que atendem a subestação de Belo Horizonte, em Mossoró/RN. Foi-se utilizado medições em campo e métodos de interpolação espacial para geração de mapas estimativos. Os resultados demonstraram que os valores obtidos estão dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL para a população geral e ocupacional, mitigando qualquer exposição prejudicial ao ser humano.

A aplicação de métodos como, a Krigagem Ordinária Esférica e a Curvatura Mínima, possibilitou uma modelagem espacial com uma distribuição de intensidades precisa, demonstrando a influência de fatores ambientais, no contexto urbano, na propagação desses campos.

Diante disso, este trabalho contribuiu para a compreensão do uso da modelagem computacional como forma de auxiliar o mapeamento estimativo espacial dos campos eletromagnéticos advindas da infraestrutura elétrica, podendo contribuir nas medidas regulatórias e aprimoramentos técnicos nos setores de energia. Propõe-se como estudos futuros, a realização de novas medições tendo como foco a área da subestação e a influência dos campos gerados pelo seu funcionamento para a população geral e ocupacional. O que pode aprofundar ainda mais a avaliação da segurança eletromagnética nas áreas próximas a subestação de Belo Horizonte.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem também, UFRSA, GEPEAT, ao capítulo Estudantil MTTS – UFRSA, ao ramo Estudantil IEEE UFRSA e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFRSA.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, C. L. S. et al. Avaliação da exposição de campos eletromagnéticos gerados por rede elétrica de média em 13.8 kV da UFRSA, Campus Mossoró: estudo sobre uma exposição populacional na UFRSA. In: ENCONTRO DE COMPUTAÇÃO DO OESTE POTIGUAR (ECOP 2020), 2020, Mossoró. Anais [...]. Mossoró: ECOP, 2020.
- [2] SOUZA, D. M.; MATTOS, R. S.; ALMEIDA, E. S. Elasticidades da demanda residencial de eletricidade no Brasil: uma análise a partir de modelos espaciais. Revista Brasileira de Energia, v. 27, n. 4, p. 81-94, 2021. DOI: 10.47168/rbe.v27i4.512.
- [3] CABRAL, Roberto J.; ARNTZEN, Matias A.; OLIVEIRA, Mario O.; MAZZOLETTI, Manuel A.; SILVA, Fernando A. Análise de campos eletromagnéticos em linhas de transmissão paralelas utilizando modelo bidimensional no software FEMM. In: IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE 2022, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 2195-2205, 10-13 jul. 2022.
- [4] TYNES, T., Haldorsen, T. Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and hematological cancers in Norway. Cancer Causes Control 14, 715–720 (2003). DOI: 10.1023/a:1026331807952.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 915, de 23 de fevereiro de 2021. Regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e revoga as resoluções normativas nº 398/2010, nº 413/2010 e nº 616/2014. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021915.pdf>.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 25415: Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60Hz. Rio de Janeiro, 2016.
- [7] ICNIRP - International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (Germany). Health Physics Society. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).
- [8] FIGUEIREDO, A. L. Estudo e mapeamento de campos eletromagnéticos, na faixa de 60 Hz, em uma subestação de alta tensão e em linhas de transmissão de 230 kV. Tese (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Universidade do Rio Grande do Norte, p. 159. 2019.
- [9] Golden Software. Site do *software Surfer* versão 13. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>

Quebrando paradigmas de gênero no ensino com o uso da experimentação de eletrônica básica

Lays Fernandes de Medeiros
Universidade Federal Rural
do Semi-Árido
Centro Multidisciplinar de Angicos
Angicos, Brasil
lays.medeiros@alunos.ufersa.edu.br

Cintia R. Duarte de Freitas
Universidade Federal Rural
do Semi-Árido
Centro Multidisciplinar de Angicos
Angicos, Brasil
cintia.duarte@ufersa.edu.br

Tania Luna Laura
Universidade Federal Rural
do Semi-Árido
Centro Multidisciplinar de Angicos
Angicos, Brasil
tania.luna@ufersa.edu.br

Resumo—Neste trabalho aborda-se a desigualdade de gênero na educação técnica e científica, com foco em eletrônica básica. O trabalho destaca o histórico de exclusão feminina em áreas das ciências exatas e as dificuldades que mulheres enfrentam ao ingressar nessas áreas. Como estratégia para mitigar essa disparidade, foi realizado o projeto de extensão, Mulheres Conectadas, onde foram realizadas aulas laboratoriais interativas de eletrônica básica para alunas do ensino médio e superior, utilizando metodologias teórico-práticas. Após finalizado a participação nas aulas, os resultados indicaram um avanço significativo no aprendizado das alunas, com aumento do índice de acertos em testes práticos e teóricos, além de demonstrar maior interesse pela área. A participação no projeto também gerou impactos emocionais e motivacionais, com relatos de participantes que passaram a considerar carreiras em Engenharia e Tecnologia após a experiência.

Palavras-chave— Gênero, Extensão universitária, Inclusão feminina

I. INTRODUÇÃO

O patriarcado é essencialmente estrutural desde os tempos mais remotos da história. A visão das mulheres sempre esteve atrelada a seres frágeis e incapazes de realizar trabalhos braçais, restringindo-as de atividades físicas e técnicas. Ou seja, seu único papel social era cuidar do lar e da família. Esse distanciamento gerou o “teto de vidro”, dificultando o acesso das mulheres a áreas consideradas difíceis, por conta dos vários fatores e estereótipos destinados a elas, em particular, o trabalho com eletrônica [1], [2].

Análogo ao contexto histórico, alguns autores, destacam que a presença feminina nas áreas de exatas foi, durante muito tempo, significativamente limitada, sobretudo devido aos estigmas que associavam essas áreas à complexidade e à suposta aptidão masculina [3]. Contudo, esse cenário tem apresentado mudanças significativas, impulsionado por lutas feministas coletivas e programas voltados à promoção da inclusão das mulheres em todos os espaços sociais, rompendo

assim, com os preconceitos enraizados e contribuindo para a construção de uma realidade mais equilibrada e representativa.

Assim, com o intuito de mitigar a mudança dessa problemática no mundo, a Organização das Nações Unidas (ONU), desenvolveu Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e apresentou dentro deles, metas no eixo de Igualdade de Gênero, a fim de promover e efetivar a participação das mulheres na sociedade [4].

Nesse ínterim, diante dos avanços alcançados, no território brasileiro, especificamente na região Nordeste, a presença feminina nos cursos de bacharelado ainda apresenta índices baixos. Segundo Barreto [5], entre 2009 e 2012, houve um crescimento tímido de apenas 1,8% nas inscrições femininas nesses cursos. É válido ressaltar que, existem iniciativas, como o Programa Mulher e Ciência, cujo objetivo principal é impulsionar a representatividade feminina no ambiente acadêmico, entretanto, os resultados demonstram que tais esforços ainda são insuficientes para reverter esse cenário [6]. Esses dados evidenciam então, a falta de uma implementação eficaz das metas propostas pela ONU para promover a equidade de gênero na educação superior.

Partindo desse pressuposto, uma estratégia para quebrar estereótipos e desenvolver equidade nos papéis sociais, é o ensino prático voltado diretamente para mulheres. Essa abordagem de aprendizado, conforme a autora Justina Ferrugem [7], desperta a curiosidade, a autonomia na resolução de problemas, bem como, prepara a mulher para o futuro em sua carreira profissional.

Diante das problemáticas levantadas, realizou-se a ação de caráter extensionista, “Mulheres Conectadas”, desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), *Campus Angicos/RN*, cujo objetivo foi ensinar eletrônica básica a jovens mulheres do ensino médio e de cursos de graduação e neste trabalho busca-se avaliar impactos qualitativos de uma ação específica com a participação de um público puramente feminino.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. ENSINO EXPERIMENTAL

O ensino experimental nos laboratórios, possibilita aos estudantes vivenciar a aplicação da ciência e da tecnologia em contextos próximos à realidade [9], ou seja, a aprendizagem por meio de experimentos abordada nesses espaços corrobora para um melhor entendimento do conteúdo e aquisição dos conhecimentos. Segundo alguns autores, a metodologia teórico-prática não apenas aprimora a compreensão de temas abstratos, mas também estimula a criatividade, promove a aprendizagem ativa e incentiva o desenvolvimento da autonomia [10].

Um exemplo concreto de educação aplicada é o projeto de extensão “Mãos à Obra!”, relatado em [11]. Esse projeto destacou a importância de aulas práticas em laboratórios, avaliando a aprendizagem de estudantes na área de Engenharia Civil. Os autores demonstraram que a experiência adquirida em atividades práticas não apenas capacita os alunos para o mercado de trabalho, mas também contribui para seu amadurecimento acadêmico e profissional.

Assim, compreendemos a abordagem teórico-prática como aquela que apresenta resultados positivos nas práticas pedagógicas e principalmente no desenvolvimento cognitivo dos discentes. Evidenciamos também, que é necessário que ocorra mudanças na metodologia tradicional normalmente utilizada nas salas de aula, a qual se caracteriza pelo uso de roteiros e monotonia, no estilo “receita”, que acabam limitando a autonomia dos alunos [12]. Urge, portanto, ressignificar métodos como este e adotar práticas didáticas que promovam a independência e estimulem a criatividade dos sujeitos no processo de ensino e aprendizagem.

B. EQUIDADE DE GÊNERO

Diante dos desafios históricos e estruturais, iniciativas que promovem a participação feminina em áreas técnicas são fundamentais. Conforme descrito em [18], as mulheres enfrentam frequentemente uma jornada dupla, conciliando suas carreiras profissionais com as tarefas domésticas. Essa realidade reflete um contexto histórico de repressão social, em que o gênero feminino era e é privado do direito à educação e de desenvolver habilidades além das relacionadas ao papel tradicional de “dona de casa”.

A educação é um instrumento de emancipação, e é por meio dela que será possível desconstruir as barreiras e promover a conscientização crítica na sociedade. Para isso, é fundamental adotar uma aprendizagem coletiva baseada no diálogo, em vez de uma abordagem hierárquica e vertical [13]. Esses conceitos enraizados contribuem para a baixa representação feminina nas áreas de engenharia, pois geram um ambiente opressor, restritivo e desmotivador, dificultando o desenvolvimento das mulheres no ambiente de trabalho.

Logo, é de suma importância conscientizar as mulheres a se reconhecerem nas diversas áreas de trabalho, incentivando-as e possibilitando oportunidades para as suas inserções e permanência nos cursos das áreas de engenharia.

III. METODOLOGIA DO TRABALHO

O projeto seguiu uma abordagem metodológica estruturada para garantir a organização e efetividade das atividades propostas. A execução das ações ocorreram em ambiente acadêmico, contando com a participação de um público puramente feminino, meninas de ensino médio e ensino superior. Algumas estratégias avaliativas foram utilizadas para mensurar o progresso das participantes e avaliar como a abordagem foi recebida por elas.

A. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO MULHERES CONECTADAS

A ação de extensão intitulada “Mulheres Conectadas”, ofereceu um curso de férias de curta duração de eletrônica básica para mulheres. O curso foi ministrado de forma presencial com duração de uma semana, com carga horária equivalente a 15 horas, em turmas divididas em três horários: manhã, tarde e noite, de forma que as cursistas pudessem escolher o horário mais conveniente. As inscrições ocorreram por meio de um *QR code* divulgado no *Campus*, nas escolas públicas da Cidade de Angicos e nas redes sociais. Tendo em vista a capacidade de atendimento do laboratório da UFRSA - Angicos, ficou estipulado o número máximo de 25 pessoas por turno. O curso ao todo contou com 25 participantes.

B. PLANEJAMENTO DAS AULAS PRÁTICAS

O minicurso adotou aulas práticas, dinâmicas e interativas e foi planejado da seguinte forma:

- **Segunda-feira:** Apresentação do curso, apresentação do material que seria utilizado e utilização do multímetro. **Objetivo da aula:** Conhecer as participantes, medir o nível de conhecimento laboratorial, apresentação e utilização do multímetro.
- **Terça-feira:** Circuitos básicos - Teoria e prática. **Objetivo da aula:** Instruir as alunas a diferenciar os circuitos elétricos em série e em paralelo, analisando suas características, aplicações e comportamento. Utilização de *LEDs* (*Light Emitting Diodes*), com destaque para seu sistema de alimentação bem como seu papel em circuitos distintos.
- **Quarta-feira:** *Push-button* e potenciômetro: controle e interatividade em circuitos. **Objetivo da aula:** Capacitar as alunas a compreender o funcionamento e as aplicações do componente *push-button* e do potenciômetro em circuitos elétricos e eletrônicos, abordando sua estrutura, características e utilização prática no dia a dia.
- **Quinta-feira:** Gerador de van der Graaff e Relé. **Objetivo da aula:** Compreender os princípios de funcionamento do gerador de van der Graff e do relé, destacando o papel fundamental do campo elétrico e do campo magnético nos dispositivos.
- **Sexta-feira:** Explorando sensor de presença e o *Tinkercard*. **Objetivo da aula:** Explorar o funcionamento do sensor de presença e suas aplicações em projetos eletrônicos, utilizando o *tinkercad* como ferramenta de

prototipagem para compreender os princípios básicos e incentivar sua prática.

C. EXECUÇÃO DO PROJETO

A aula teórica foi apresentada de forma simplificada por meio de apresentação de *slides*, enquanto a prática na montagem dos circuitos foi desenvolvida de maneira autônoma pelas participantes. Durante essa etapa, as participantes contaram com o assessoramento da discente responsável pelo minicurso e com o suporte das docentes orientadoras, que estavam disponíveis para esclarecer dúvidas e orientar sobre eventuais dúvidas, garantindo a segurança da aula e a preservação dos equipamentos utilizados.

D. INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Para a análise qualitativa, utilizamos a plataforma *Google Forms*, com os seguintes formulários: Inscrição, contendo 7 perguntas, *quiz* de conhecimentos específicos, com 22 questões e avaliação do minicurso, com 8 questões.

Cada formulário foi elaborado com uma finalidade específica. O formulário de inscrição teve como objetivo coletar os dados pessoais das participantes e foi respondido antes do início do minicurso. O *quiz* de conhecimento foi aplicado duas vezes: na primeira aula e na última, com o propósito de medir a progressão das cursistas. Esse *quiz* continha perguntas técnicas e questões relacionadas ao reconhecimento dos materiais utilizados durante as aulas. No que tange, ao questionário de avaliação, este permitiu que as discentes avaliassem o projeto e pudesse oferecer um relato de sua experiência individual.

Para uma análise mais precisa dos resultados do *quiz* de conhecimento, as respostas dissertativas foram registradas em uma planilha e categorizadas de acordo com a correção. As respostas corretas foram destacadas em verde, as incorretas em vermelho e aquelas em que a participante não souberam responder em amarelo. Após essa classificação, foi realizada a contagem das respostas antes e depois do minicurso, permitindo a coleta e comparação dos dados para avaliar a evolução das participantes.

IV. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Com base na pesquisa qualitativa realizada por meio dos formulários aplicados, os gráficos a seguir são baseados no *quiz* de conhecimento específico do curso, que demonstram os impactos da metodologia teórico-prática na aprendizagem das alunas. As duas figuras, 1 e 2 a seguir, apresentam o número total de acertos da turmas antes e após a participação das atividades.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 1 indicam uma grande dificuldade inicial das alunas no reconhecimento dos equipamentos básicos utilizados durante as aulas. Das 462 respostas registradas, 345 indicaram desconhecimento total do conteúdo, 17 foram respostas incorretas e apenas 100 estavam corretas, contabilizando 21,64% de acertos.

No entanto, após a realização do minicurso, o gráfico da figura 2 demonstra uma melhora significativa no desempenho das alunas. O número de respostas corretas aumentou para 322,

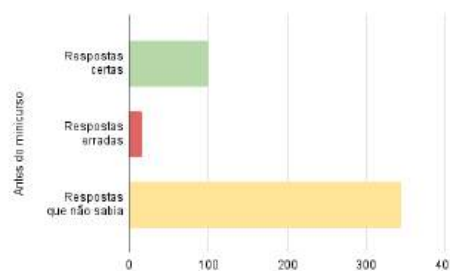


Figura 1. Quiz de conhecimentos específicos antes do minicurso.

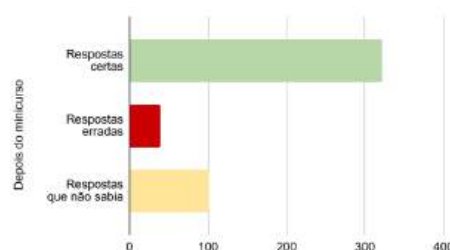


Figura 2. Quiz de conhecimentos específicos depois do minicurso.

indicando um aumento de 48% de acertos, enquanto 39 respostas estavam incorretas e 101 indicaram desconhecimento.

Essa evolução evidencia que a metodologia teórico-prática contribuiu para o aprendizado, reforçando a importância da abordagem prática na assimilação dos conceitos relacionados aos temas elétricos.

Além disso, para mitigar erros e dificuldades nas questões, os gráficos das Figuras 3 e 4 apresentam um levantamento das questões com maior índice de dificuldades para as alunas, considerando o número de acertos, erros e respostas em branco. Essas informações são fundamentais para identificar quais conteúdos ainda necessitam de reforço e aperfeiçoamento no ensino.

O gráfico da Figura 3, evidencia uma dificuldade inicial das alunas, com a maioria das respostas concentradas na categoria “Não Sei”, o que indica baixa familiaridade com os conteúdos abordados. Questões como 2, 11, 12, 14, 17, 18, 20, 21 e 22, que exigiam a identificação dos materiais apresentados nas imagens e suas funcionalidades, registraram altos índices de desconhecimento e erros, sugerindo maior complexidade ou falta de exposição prévia ao tema. Por outro lado, perguntas como 3, 4, 8 e 13, que também envolviam o reconhecimento de funcionalidades, tiveram um desempenho relativamente melhor, pois abordavam materiais com os quais as alunas tiveram mais contato, indicando que esses tópicos eram mais acessíveis.

Já no gráfico da Figura 4, que apresenta os resultados após o minicurso, demonstra um aumento expressivo nos acertos,

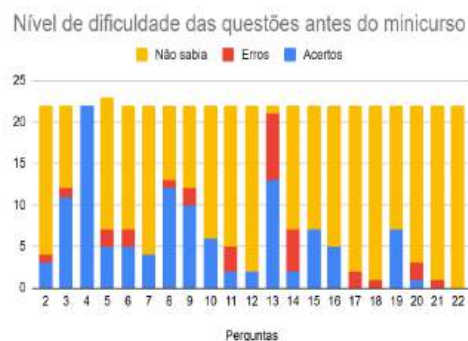


Figura 3. Nível de dificuldade do quiz de conhecimentos específicos antes do minicurso.

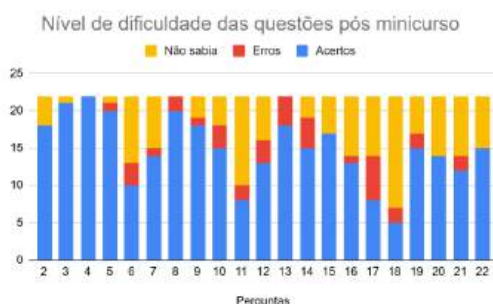


Figura 4. Nível de dificuldade do quiz de conhecimentos específicos depois do minicurso.

confirmando a eficácia da intervenção. No entanto, algumas questões, como 6, 17 e 18, ainda apresentaram dificuldades, sinalizando a necessidade de reforço nesses tópicos. Além disso, o equilíbrio entre erros, acertos e desconhecimento em algumas perguntas sugere que certos conceitos demandam revisão para um aprendizado mais sólido e uniforme.

A presença de erros dispersos indica que, mesmo com tentativas de resposta, houve dificuldades na compreensão do conteúdo. Esses dados reforçam a importância do minicurso para preencher lacunas no conhecimento, priorizando os temas mais desafiadores e adotando metodologias mais dinâmicas para facilitar a assimilação dos conceitos.

Em continuidade, duas perguntas feitas na avaliação do minicurso merecem destaque, às perguntas 7 e 8 questionavam as participantes sobre: (7) Em relação à participação de mulheres em estudos de tecnologia, qual a sua opinião sobre isso e como o projeto ajudou na construção desse pensamento? e (8) O projeto foi importante na sua história? Se sim, nos conte um pouco como isso aconteceu (Pode ser em relação a planos futuros, dificuldades pessoais superadas ou outras coisas.). Destacamos algumas respostas que serão apresentadas a seguir:

Questão 7:

“Sim, seremos capazes de construir projetos que incentiva outras mulheres para a área. E colocando a teoria na prática. Deixando nossos pensamentos e criatividade no mundo tecnológico.” (Aluna 8)

“Acho importante, pois desmistifica a ideia que só os homens são capazes de lidar/trabalhar com eletricidade. O projeto me ajudou a ampliar meu pensamento sobre isso, a partir dos conhecimentos e experiências compartilhados/construídos juntos junto a mediadora do minicurso e as demais colegas participantes.” (Aluna 12)

“Sempre achei válido e o projeto mostrou que com um incentivo, até pessoas de áreas diferentes, também podem ser boas nisso” (Aluna 19)

Questão 8:

“Sim, ajudou a considerar novas opções de cursos futuros” (Aluna 6)

“Sim, pois nunca tinha tido contato com a parte elétrica, de saber como seria a montagem de um circuito e os equipamentos que não saberia o uso. Esse projeto foi uma experiência incrível tanto na prática de como seria esse mundo eletrônico, de sair da teoria e ver na prática.” (Aluna 8)

“Sim, ele ajudou a entender como funciona muitas coisas do dia a dia. Os conhecimentos aprendidos podem ser usados pra feiras de ciências, projetos separados e alguns projetos da escola” (Aluna 9)

“Simmm, eu tenho muita vontade de voltar a estudar quem saber pode ser nessa área. Terminei meus estudos em 2013 e parei não fiz mais nada, e esse mini curso foi bastante interessante.. inspiração pra mim pensar em estudar nessa área da tecnologia.” (Aluna 10)

Em relação as respostas recebidas, percebe-se uma mudança de perspectiva em relação à área elétrica e ao protagonismo da mulher em sua própria trajetória. Nos relatos da questão 8, alguns participantes afirmaram ter interesse em cursar a área, mencionaram a perda do medo no manuseio dos materiais e, entre aqueles que já tinham interesse, esse desejo foi ainda mais reforçado. Destaca-se, em especial, o relato da aluna 10, que mencionou ter interrompido os estudos, mas, após o minicurso, cogita retomá-los, evidenciando o impacto positivo do incentivo proporcionado pela experiência.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mediante os depoimentos coletados na Questão 7, evidencia-se uma mudança significativa na visão das participantes sobre o papel das mulheres na tecnologia. As respostas destacam a importância de espaços que incentivem o protagonismo feminino e desmistifiquem a ideia de que a eletrônica é uma área exclusivamente masculina.

Além disso, seguindo a mesma linha de raciocínio, as alunas relataram que o minicurso proporcionou uma experiência prática que reforçou sua confiança para atuar na área, como observado no relato da aluna 8 e 12. Ademais, a resposta da aluna 19 sugere que, com o incentivo certo, mesmo aquelas que não pertencem diretamente à área podem desenvolver habilidades e interesse pela tecnologia.

Esse resultado, por sua vez, corrobora com estudos que apontam que a presença feminina e experiências práticas no ensino são fatores fundamentais para aumentar a participação de mulheres em áreas tecnológicas. Dessa forma, ao proporcionar esse ambiente, o minicurso contribuiu para a construção de uma nova percepção sobre as capacidades das alunas e sua inserção na área.

No mesmo sentido, as respostas da Questão 8 reforçam o impacto positivo do projeto na trajetória acadêmica e pessoal das alunas. Destaca-se, em especial, o relato da aluna 10, que menciona a possibilidade de retomar os estudos após a experiência vivida no minicurso, evidenciando o potencial transformador do projeto. Outras alunas, também tiveram respostas similares a da 6, afirmando ter despertado interesse em cursos futuros e aprofundamento na área de engenharia elétrica ou eletrônica.

Além da influência acadêmica, os depoimentos também mostram que o minicurso ajudou a superar barreiras psicológicas, como o “medo” de manusear equipamentos elétricos e a dificuldade inicial com a disciplina. Assim, esses dados indicam que o ensino teórico-prático, aliado a um ambiente de acolhimento e incentivo, pode ser uma ferramenta essencial para desmistificar a complexidade da eletrônica e torná-la acessível a mais mulheres.

Paralelamente, os dados quantitativos reforçam as percepções qualitativas das participantes. O Gráfico da figura 1 revela um conhecimento inicial muito limitado sobre circuitos elétricos, com 74,67% das respostas indicando total desconhecimento. Esse resultado inicial está alinhado com os relatos das alunas, que mencionaram nunca ter tido contato com a área antes do minicurso.

Por conseguinte, o Gráfico da figura 2 mostra um avanço significativo na compreensão do conteúdo, com um aumento de 48% nas respostas corretas após a realização das atividades. Isso sugere que a abordagem metodológica utilizada foi eficaz na assimilação dos conceitos.

Entretanto, apesar da evolução observada, os Gráficos das figuras 3 e 4 indicam que algumas questões continuaram apresentando um alto índice de erros, especialmente aquelas que exigiam identificação de componentes e suas funcionalidades (ex.: questões 6, 17 e 18). Esses dados apontam para a necessidade de um reforço nesses tópicos, seja por meio de mais atividades práticas, revisão conceitual ou exercícios adicionais.

Por outro lado, a presença de erros dispersos sugere que algumas alunas tentaram responder as perguntas mesmo sem total segurança, o que pode ser interpretado como um indicativo de engajamento e tentativa de aprendizado. No entanto, também reforça a importância de continuar aprimorando as estratégias de ensino para garantir uma compreensão mais sólida dos conceitos abordados.

Diante desses resultados, evidencia-se que o minicurso teve um impacto positivo tanto no aprendizado quanto na autoconfiança das alunas. A mudança na percepção sobre a eletrônica, o aumento no interesse pela área e a superação de

dificuldades iniciais são evidências do sucesso da abordagem adotada.

Contudo, a análise dos *quizzes* aponta desafios que podem ser trabalhados em futuras edições do projeto, como a necessidade de aprofundamento em alguns conteúdos e o reforço da prática com materiais específicos. Dessa maneira, a continuidade dessas ações pode ampliar ainda mais os efeitos positivos do minicurso, contribuindo para uma maior inclusão feminina na área da eletrônica e tecnologia.

Com a implementação do projeto Mulheres Conectadas, foi possível perceber um impacto significativo não apenas nas discentes, mas também no curso de elétrica. A iniciativa contribuiu para a captação de novas alunas na área de STEM (*Science, Technology, Engineering and Maths*). Nesses contextos, a implementação de projetos como esse se torna ainda mais relevante, pois a falta de acesso a esse tipo de conhecimento pode restringir as possibilidades de formação acadêmica e profissional, perpetuando a desigualdade de oportunidades entre grandes centros urbanos e cidades menores.

Além disso, os resultados obtidos demonstram que, ao oferecer experiências práticas e acessíveis, os estudantes passam a enxergar novas possibilidades de carreira e desenvolvimento pessoal. Ademais, a disseminação desse conhecimento pode impactar positivamente a economia local, formando profissionais capacitados que futuramente podem atuar na região. A experiência adquirida pelas participantes também se reflete na comunidade, pois os alunos compartilham o que aprendem com suas famílias e amigos, ampliando o impacto social da iniciativa. Dessa forma, cria-se um ciclo de aprendizado e inovação que pode levar ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas e ao fortalecimento da área científica em cidades pequenas.

Por fim, a continuidade do projeto pode consolidar o conhecimento adquirido, ampliar seu alcance e melhorar os conteúdos que apresentaram dificuldades. A implementação de laboratórios de eletricidade básica com metodologia ativa pode transformar a percepção das alunas em relação à disciplina, tornando-a mais acessível e atrativa.

Dessa forma, a manutenção do projeto permite aprimorar as metodologias utilizadas, tornando as experiências mais interativas e eficazes na construção do conhecimento. Com base nos resultados obtidos, percebe-se que os estudantes apresentam um maior interesse e compreensão ao trabalhar com circuitos e experiências práticas. Essa abordagem contribui para reduzir a evasão escolar e universitária, além de aumentar a confiança das alunas ao lidarem com conceitos que, inicialmente, poderiam parecer complexos.

A partir das atividades realizadas no projeto, é possível perceber que as discentes foram estimuladas a se tornarem novos talentos e a gerar oportunidades para que mais estudantes considerem seguir carreira nessas áreas. O incentivo à permanência também se torna crucial, especialmente para o público feminino, que historicamente enfrenta barreiras em campos como a engenharia e a eletrônica. Ao demonstrar que a eletricidade básica é acessível, desmistificam-se ideias

preconcebidas e encoraja-se a inclusão de meninas e mulheres na ciência e tecnologia. A interação com profissionais da área e a possibilidade de desenvolver projetos práticos também são fatores que podem manter as alunas motivadas, proporcionando um ambiente de aprendizado que valoriza a criatividade e o pensamento crítico.

VI. CONCLUSÃO

A ação de extensão Mulheres Conectadas proporcionou uma grande oportunidade para mulheres interessadas em aprender conceitos de eletrônica básica e desenvolver habilidades práticas de montagem e manipulação de equipamentos de medição de sinais elétricos. As participantes desenvolveram competências como trabalho em equipe, resolução de problemas e pensamento crítico. Essas habilidades são fundamentais para o sucesso acadêmico e profissional das alunas, mas também fortalecem lutas feministas coletivas, promovendo a inclusão das mulheres em todos os espaços sociais.

A participação ativa das alunas na montagem de seus próprios circuitos proporcionou maior autonomia sobre os conhecimentos adquiridos, resultando em um aumento da autoconfiança à medida que enfrentaram e superaram desafios. Além disso, a análise dos questionários indicou uma melhora significativa na habilidade tecnológica das participantes, acompanhada por um crescimento no interesse por carreiras em áreas de STEM.

Por outro lado, a atuação da aluna de graduação como protagonista do projeto de extensão permitiu a aplicação prática de seus conhecimentos de ensino, aprimorando suas habilidades interpessoais, preparando-a melhor para o mercado de trabalho.

Nesse contexto, o minicurso Mulheres Conectadas demonstrou resultados positivos tanto na formação acadêmica e profissional das alunas em graduação quanto no incentivo à diversidade de gênero na ciência e tecnologia. Considera-se que o registro dessa experiência e seu compartilhamento com a comunidade possam estimular novas iniciativas, promovendo a transformação social por meio do conhecimento e da tecnologia.

Ao utilizar o ensino como ferramenta de transformação, o projeto tem o potencial de romper barreiras históricas e estruturais. Por meio do incentivo à programação para discentes, considera-se que mais meninas e mulheres possam ingressar e prosperar na engenharia elétrica, ampliando suas competências e contribuindo para a quebra do “teto de vidro”. Esse avanço impulsiona a presença feminina em posições de liderança, promovendo uma maior representatividade em cargos estratégicos.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, F. F.; RIBEIRO, P. R. C. Trajetórias de mulheres na ciência: “ser cientista” e “ser mulher”. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 20, p. 449-466, 2014.
- [2] PINHEIRO, M. G et al. Análise da Presença Feminina em Instituição de Ensino Tecnológico Federal: De Discentes a Técnicos Administrativos. *Proceedings of the LII Brazilian Congress of Engineering Education*. Anais da Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2024.
- [3] Antunes, E. G. P., Apolinário, A. B., & Nascimento, T. A. do. (2024). Meninas na engenharia: desenvolvimento de sistema de automação em salas de aula como forma de incentivar a participação feminina em projetos de tecnologia e engenharia engenharia. <https://doi.org/10.37702/2175-957x.cobenge.2024.5268>
- [4] IPEA. Igualdade de Gênero. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods5.html>. Acesso em 23 de dezembro de 2024.
- [5] BARRETO, A. Cadernos do GEA, n. 6, jul./dez. 2014.
- [6] BRITO, H. M. B. F.; SILVA, L. V. DE S.; BEZERRA, W. L. Estímulo à participação e à formação de meninas e mulheres para a carreira de engenharia através da extensão universitária. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 15, p. e214111537245, 15 nov. 2022.
- [7] JUSTINA FERRUGEM, A. Aula Prática de Curso De Engenharia Elétrica no BRASIL. 2021.
- [8] SPINATO, M. P.; RADÜNS, C. D.; ENDERLE, T. P. Projeto de extensão meninas que engentham o futuro, dez. 2020.
- [9] PEKELMAN, Helio; MELLO-JR, A. A importância dos laboratórios no ensino de engenharia mecânica. In: Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia-COBENGE. Brasília, 2004.
- [10] GLASER, V.; FIOREZE, A. C. DA C. L.; PIERRE, P. M. O. Curso teórico-prático de Biologia Celular: impactos e percepções de estudantes de uma escola de Ensino Médio em Curitiba SC. *Extensio: Revista Eletrônica de Extensão*, v. 19, n. 41, p. 32-45, 19 abr. 2022.
- [11] RABELO, M. T. O. et al. MÃOS À OBRA! O encontro entre teoria e prática. *REVISTA FOCO*, v. 17, n. 2, 2024.
- [12] SANTOS, Cenilza Pereira dos; SOARES, Sandra Regina. Aprendizagem e relação professor-aluno na universidade: duas faces da mesma moeda. *Estudos em avaliação educacional*, v. 22, n. 49, p. 353-369, 2011.
- [13] FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: EDITORA PAZ E TERRA S/A, 1987. v. 21
- [14] PIVETTA, Hedioneia Maria Foletto et al. Ensino, pesquisa e extensão universitária: em busca de uma integração efetiva. *Linhas críticas*, p. 377-390, 2010.
- [15] SILVA, Miriam Ferreira da; MENDOZA, Cynthia Carolina González. A importância do ensino, pesquisa e extensão na formação do aluno do Ensino Superior. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 6, n. 8, p. 119-133, 2020.
- [16] SCHEMMER, Raffael Bottoli; HINCKEL, Nágila Cristina; ZOTTI, Solange Aparecida. Projeto de extensão: Configuração/montagem instalação e manutenção de computadores. *Extensão Tecnológica: Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense*, v. 10, n. 19, p. 149-168, 2023.
- [17] Halliday, David, 1916-2010 *Fundamentos de física, volume 3 : eletromagnetismo* / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker ; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. - 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2016.
- [18] SOUZA, Juliana Boanova; LOGUERCIO, Rochele de Quadros. Fome de quê? A [in] visibilidade de meninas e mulheres interdadas de atuarem na Educação das áreas Exatas. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 27, p. e21069, 2021.